

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Zvonimir Šako

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić, dipl. ing.

Student:

Zvonimir Šako

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Jerolimu Andriću, dipl. ing. i dr.sc. Marku Tomiću, dipl. ing. na pomoći, korisnim savjetima i naputcima prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se i svojoj obitelji koja mi je bila potpora tijekom studiranja.

Zvonimir Šako



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija brodogradnje



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Zvonimir Šako** Mat. br.: 0023072059

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **ANALIZA POSTUPKA OSNIVANJA SUHOG DOKA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **ANALYSIS OF GRAVING DRYDOCK PRELIMINARY DESIGN**

Opis zadatka:

Suhi dokovi, kapitalna građevna mjesta suvremenih brodogradilišta, složene su konstrukcije značajnog utjecaja na tehnološke procese i tokove unutar brodogradilišta. U procesu osnivanja brodogradilišta, a posebno tijekom razrade općeg plana, građevna mjesta varijable su od primarnog značaja, koje se osnivaju složenim međudjelovanjem raznorodnih tehničkih struka.

U okviru diplomskog zadatka potrebno je:

1. Analizirati građevna mjesta (s naglaskom na prednosti i nedostatke) u suvremenim brodogradilištima.
2. Kritički analizirati opće karakteristike, konstrukciju, dizalično-transportnu opremu i energetske sustave postojećih suhih dokova.
3. Analizirati postojeće propise za osnivanje i konstrukciju suhih dokova.
4. Naveći građevinske radove i procedure potrebne za izgradnju suhog doka.
5. Odrediti prikladnu metodu preliminarnog osnivanja suhog doka.
6. Prethodno navedene spoznaje, postupke i metode primijeniti u osnivanju suhog doka prototipnog brodogradilišta.

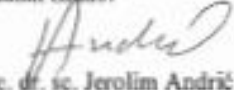
U zadatku koristiti dostupnu stručnu literaturu, opće planove i tehničke opise građevnih mjesta u brodogradilištima te svu dostupnu informatičku infrastrukturu na FSB-u.

Zadatak zadan:
7. svibnja 2015.

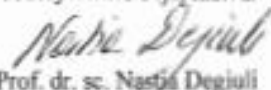
Rok predaje rada:
9. srpnja 2015.

Predviđeni datumi obrane:
15., 16. i 17. srpnja 2015.

Zadatak zadan:


Doc. dr. sc. Jerolim Andrić

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Nastja Degiuli

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. PREGLED GRAĐEVNO-REMONTNIH MJESTA BRODOGRADILIŠTA	2
2.1. Uzdužni navoz.....	2
2.2. Poprečni navoz.....	4
2.3. Slipovi	5
2.4. Suhi dok	7
2.5. Plutajući dokovi	9
2.5.1. Pontonski tip doka	12
2.5.2. Jednodijelni plutajući dokovi	12
2.5.3. Sekcijski plutajući dokovi	12
2.6. Lučke tračnice	12
2.7. Vertikalni liftovi.....	14
3. OSNIVANJE SUHOG DOKA	16
4. IZGRADNJA SUHIH DOKOVA	19
4.1. Kopanje, krčenje i nasipanje	21
4.2. Zemljani radovi	22
4.3. Duboko temeljenje	22
4.4. Uklanjanje vode	23
4.5. Sidrenje tla	24
4.6. Betoniranje	25
4.7. Ojačanje	25
5. PREGLED TIPOVA SUHIH DOKOVA	26
5.1. Betonski masivni (gravitacijski) dokovi	26
5.2. Usidreni dokovi.....	29
5.3. Drenažni dokovi.....	31
6. POD I ZIDOVI DOKA.....	34
6.1. Pod doka.....	34
6.2. Zidovi doka	35
6.2.1. Konzolni potporni zidovi.....	36
6.2.2. Konzolni potporni zidovi s kontraforom	36
7. SUSTAV ZA NAPLAVLJIVANJE I ISUŠIVANJE	38
7.1. Pumpe.....	42
7.2. Ventili.....	44

7.3. Pumpna stanica	46
8. VRATA SUHOG DOKA	48
8.1. Plutajuća vrata.....	48
8.2. Vrata sa šarkom.....	50
8.3. Klizna vrata	51
8.4. Krilna vrata	52
8.5. Preklopna vrata	53
9. DIZALICE SUHOG DOKA.....	55
9.1. Konzolne dizalice.....	57
9.1.1. Pokretna konzolna dizalica sa stabilnim usponom.....	58
9.1.2. Pokretno-prihvatna dizalica s dvostrukom granom.....	58
9.1.3. Pokretno-prihvatna dizalica s jednostrukom granom	59
9.1.4. Stacionarna "hammer head" dizalica.....	60
9.2. Portalne dizalice	60
10. POJEDNOSTAVLJENA STRUKTURNA ANALIZA SUHOG DOKA.....	62
10.1. Izvod jednadžbe ravnoteže grede na elastičnoj podlozi opterećene koncentriranom silom.....	65
10.2. Poopćenje izraza za odziv grede na elastičnoj podlozi uslijed djelovanja dvije koncentrirane sile	70
10.3. Poopćenje izraza za odziv grede na elastičnoj podlozi uslijed djelovanja proizvoljnog broja koncentriranih sila	75
10.4. Strukturna analiza doka uslijed opterećenja lakog broda.....	76
11. ZAKLJUČAK.....	79
LITERATURA.....	80
PRILOZI.....	82

POPIS SLIKA

Slika 1. Uzdužni navoz sa pripadajućim dijelovima [3]	3
Slika 2. Način izvedbe poprečnog navoza [5]	5
Slika 3. Izvedbe slipova sa platformom i kosnik-kolica [5]	6
Slika 4. Prikaz izvedbe poprečnog slipa [5]	6
Slika 5. Poprečni presjek suhog doka s oltarima [4]	7
Slika 6. Efektivna širina doka i širina doka na vratima [4]	8
Slika 7. Uzdužni presjek doka s elementima strukture [4]	9
Slika 8. Dijelovi plutajućeg doka i sile koje djeluju na njega [4]	10
Slika 9. Jednostavna klasifikacija plutajućih dokova [4]	11
Slika 10. Lučke tračnice sa svojim pripadajućim elementima [4]	13
Slika 11. Vertikalni lift i njegovi funkcionalni elementi [5]	14
Slika 12. Preliminarna shema osnivanja suhog doka	16
Slika 13. Raspored prostora koju propisuju pravilnici [6]	18
Slika 14. Glavne etape tijekom gradnje doka [8]	19
Slika 15. Vozilo koje utiskuje pločaste čelične talpe u zemlju [9]	20
Slika 16. Bager koji usisava mulj i mekše dijelove tla [10]	22
Slika 17. Sustav izgradnje Franki pilota [12]	23
Slika 18. Princip rada well point sustava za isušivanje [14]	24
Slika 19. Djelovanje hidrostatičkog tlaka na suhi dok [4]	26
Slika 20. Različite izvedbe betonskih suhих dokova [6]	27
Slika 21. Pločasti limovi koji se koriste kao struktura zida [16]	28
Slika 22. Presjek betonsko-masivnog suhog doka u Scaramangi [8]	28
Slika 23. Sustav sidrenja doka s stupovima [4]	29
Slika 24. Presjek usidrenog suhog doka u Aleksandriji [8]	30
Slika 25. Poprečni presjek doka koji je potpuno oslobođen od utjecaja hidrostatičkog tlaka podzemne vode [4]	32
Slika 26. Poprečni presjek doka koji je djelomično oslobođen hidrostatičkog tlaka [4]	33
Slika 27. Tri osnovne kategorije zida [18]	35
Slika 28. Izvedba konzolnih potpornih zidova [18]	36
Slika 29. Izvedba konzolno potpornih zidova s kontraforom [18]	37
Slika 30. Sustav naplavlivanja [6]	40
Slika 31. Sustav isušivanja [6]	41
Slika 32. Podjela pumpi koje su obavezne u svakom suhom doku	42
Slika 33. Radne karakteristike pumpi [8]	43
Slika 34. Prikaz ventila koji se pokreće ručno [8]	45
Slika 35. Izgled leptir ventila [8]	45
Slika 36. Obilježja plutajućih vrata [6]	49
Slika 37. Izgled i funkcioniranje vrata sa šarkom [6]	50
Slika 38. Princip rada kliznih vrata [6]	51
Slika 39. Krilna vrata doka [6]	52
Slika 40. Izgled preklopnih vrata [6]	53
Slika 41. Najproduktivniji način smještaja montažne površine i proizvodnog pogona s pokretnim krovom [8]	57
Slika 42. Dizalica sa stabilnim usponom [8]	58
Slika 43. Pokretno-prihvatna dizalica s dvostrukom granom [8]	59

Slika 44. Pokretno-prihvatna dizalica s jednom granom [8]	59
Slika 45. Karakteristike portalnih dizalica [8]	60
Slika 46. Prikaz broda koji je oslonjen na elastičnu podlogu tla i potklada.....	62
Slika 47. Poprečni presjek doka koji se koristi za strukturnu analizu.....	63
Slika 48. Prikaz djelovanja sile na gredu	66
Slika 49. Postavljanje rubnih uvjeta za svaki od elemenata.....	66
Slika 50. Deformacija koja je nastala djelovanjem sile određenog iznosa	69
Slika 51. Postavljanje rubnih uvjeta za tri elementa	70
Slika 52. Deformacija nastala uslijed djelovanja dvije koncentrirane sile određenog iznosa..	73
Slika 53. Struktura opterećena sa n brojem sila	75
Slika 54. Globalna matrica za n broj elemenata	75
Slika 55. Deformacije nastale uslijed djelovanja sila na podijeljenih osam elemenata	76
Slika 56. Raspored kobilčnih i bočnih potklada.....	77
Slika 57. Distribucija težine tankera po duljini	77
Slika 58. Deformacija nastala uslijed težine lakog broda	78

POPIS TABLICA

Tablica 1. Okvirni prikaz dimenzija doka za gradnju određenih tipova broda [7]	17
Tablica 2. Prikaz karakteristika za različite oblike čela doka [7].....	17
Tablica 3. Vrijeme naplavljivanja i isušivanja u suhim dokovima [8].....	39
Tablica 4. Prikaz nosivosti, dosega i zakretnog momenta konzolnih dizalica kroz određeno vremensko razdoblje [8]	56
Tablica 5. Karakteristike portalnih dizalica koje se nalaze u suhim dokovima [8].....	61
Tablica 6. Moduli elastičnosti za glinu, pijesak i šljunak [13].....	63
Tablica 7. Veličina sila i udaljenost na kojoj djeluju	78

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
F	N	Sila
k_s	kN/m^3	Koeficijent posteljice tla
B_s	m^3	Temeljna stopa
ν_s	-	Poissonov koeficijent
w	mm	Progib
φ	-	Kut zakreta
Q	-	Poprečna sila
M	-	Moment
A	-	Koeficijent
I	m^4	Moment tromost suhog doka
E	kN/m^2	Module elastičnosti tla
L_u	m	Duljina doka
S_u	m	Širina doka
h_w	m	Dubina doka na ulazu
L_{OA}	m	Duljina broda preko svega
L_{PP}	m	Duljina broda između perpendikulara
B	m	Širina broda
T	m	Projektni gaz broda
H	m	Visina broda

SAŽETAK

Suhi dokovi su objekti u kojima se vrši remont ili gradnja broda. Za izgradnju ovog kapitalnog hidrotehničkog objekta potrebno je izvršiti analizu tla, ispitati utjecaj podzemnih voda te izraditi projektnu i izvedbenu dokumentaciju. Zastupljena su tri različita tipa suhog doka. Proces izgradnje odvija se na obalnom terenu ili na morskom dnu. Tijekom izgradnje koriste se mnogi elementi koji služe za ojačanje strukture, a materijal od kojeg se grade suhi dokovi armirani je beton. Tlocrt suhих dokova je pravokutnog, a poprečni presjek trapeznog ili pravokutnog oblika. Strukturu doka čine pod (kao najvažniji strukturni element), bočni zidovi, čeonі zid i vrata doka. Dno se u uzdužnom smjeru gradi sa blagim nagibom prema vratima kako bi se omogućilo lakše istjecanje vode tijekom isušivanja doka. Kako bi bili operativni, moraju imati uređaje koji služe za naplavlјivanje i isušivanje, instaliran kompletan energetski sustav te sustav gradnje i opremanja. Sustav za naplavlјivanje i isušivanje sastoji se od pumpne stanice, pumpi koje se koriste za različite svrhe, usisnih i odvodnih kanala te ventila. Vrata suhog doka razlikuju se dizajnom, konfiguracijom i načinom rada. Na odabir vrata koja su prikladna za određeni tip suhog doka utječu mnogi faktori. Dizalično-transportna oprema važan je dio opreme brodogradilišta zbog izgradnje brodova. Upotrebom dizalica koje imaju veći kapacitet i doseg, omogućuje se brža i efikasnija izgradnja. U ovom radu napravljen je pregled građevno-remontnih mjesta brodogradilišta s posebnim naglaskom na suhe dokove. Prikazan je cjelokupni proces osnivanja, izgradnje i opremanja suhog doka te pojednostavljena strukturna analiza betonsko-masivnog doka opterećenog tankerom za prijevoz kemikalija u izgradnji.

Ključne riječi: suhi dok; tlo; beton; piloti; vrata doka; pumpe; dizalice

SUMMARY

Graving drydocks are objects that are used for repair or construction of ships. In order to construct this kind of capital hydrotechnical facility it is necessary to perform soil analysis, to examine the impact of groundwater and make elaborate project and construction documentation. Graving drydocks are usually classified into three different types. Actual building process takes place in the coastal ground or on the seabed. During the construction many elements are used for structural reinforcement, and the material from which drydocks are made is reinforced concrete. The plan view is rectangular, and the cross section is trapezoidal or rectangular in appearance. The structure of drydocks consists of dock floor, side walls, front wall and door of the dock. The bottom in the longitudinal direction is built with a slight inclination towards the door to allow easier flow of water during the drying out of the dock. To be operational, drydocks are installed with flooding and drainage system, complete energy system and the devices for construction and outfitting of ships (vertical transport system). The system for flooding and drainage consists of a pumping station, the pumps that are used for different purposes, suction and drainage channels and valves. Drydock doors can vary due to different designs, configurations and modes of operation. The selection of the door which is suitable for a certain type of dock is influenced by many factors. Vertical transport equipment (namely cranes) are an important segment in the shipyard for the construction of ships. Using a crane, which has a greater capacity and reach, allows for a faster and more efficient construction. In this thesis an outline of ship repair and shipbuilding facilities is given with emphasis on graving drydocks. The whole process of drydock design, construction and outfitting is detailed along with a simplified structural analysis of heavy graving drydock loaded with chemical tanker being built.

Key words: dry dock; soil; concrete; pilots; dock gates; pumps; cranes

1. UVOD

Suhi dokovi su kapitalni hidrotehnički objekti brodogradilišta u kojima se obavlja operacija dokovanja i/ili izgradnje broda. U njima se obavlja remont, preinake te gradnja jednog ili više brodova što ovisi o veličini suhog doka. Kod suhih dokova nije potrebno izvoditi pripreme za porinuće jer se suhi dokovi naplavljuju vodom (brod se zapravo „predaje vodi“) i samim time izbjegnute su opasnosti oštećenja broda te remontnog/građevnog mjesta. Ovisno o konfiguraciji tla, suhi dokovi grade se ili na obalnom terenu (teritorij brodogradilišta) ili na morskom dnu (akvatorij brodogradilišta). Najčešći materijal od kojih se grade je armirani beton. Oblik suhog doka u tlocrtu je pravokutan, a poprečni presjek je ili trapezni ili pravokutni.

Postoje različite izvedbe suhih dokova, a najčešći su oni kojima se vrata doka nalaze uz more, dok su ostali dijelovi dio kopna. Uz ovu klasičnu izvedbu, postoje još i suhi dokovi sa vratima na oba kraja doka (bez čeonog zida), kao i dokovi sa uzdužnim i poprečnim vratima unutar samog bazena doka. Dno se može u uzdužnom smjeru graditi s blagim nagibom prema vratima čime se osigurava lakše istjecanje vode tijekom isušivanja doka. Gradnja broda u doku ne bi bila moguća bez odgovarajuće opremljenosti tog kapitalnog objekta. Suhi dokovi moraju imati uređaje koji služe za naplavljivanje i isušivanje, instaliranu kompletnu energetiku te sustav gradnje i opremanja (dizalično-transportna oprema).

Naplavljivanje suhog doka vrši se postepenim puštanjem morske vode u bazen doka gdje će brod nakon određenog vremena ostvariti uzgon te će plutati na mirnoj površini. Sustav punjenja/isušivanja suhog doka sastoji se od pumpne stanice, pumpi, zdenaca i odvodnih kanala. Uz sam rub doka smješteni su cjevovodi za plin i kisik, te instalacije za električnu energiju. Sastavni dio opreme suhog doka je dizalično-transportna oprema (dizalice) koja služi za remont, gradnju i opremanje broda.

2. PREGLED GRAĐEVNO-REMONTNIH MJESTA BRODOGRADILIŠTA

Postoje nekoliko različitih tipova građevno-remontnih mjesta koja se koriste u brodogradnji. Njihov odabir uvelike ovisni o teritoriju i razvedenosti obale, a to su:

- uzdužni navoz
- poprečni navoz
- slipovi
- suhi dokovi
- plutajući dokovi
- tračnice
- liftovi

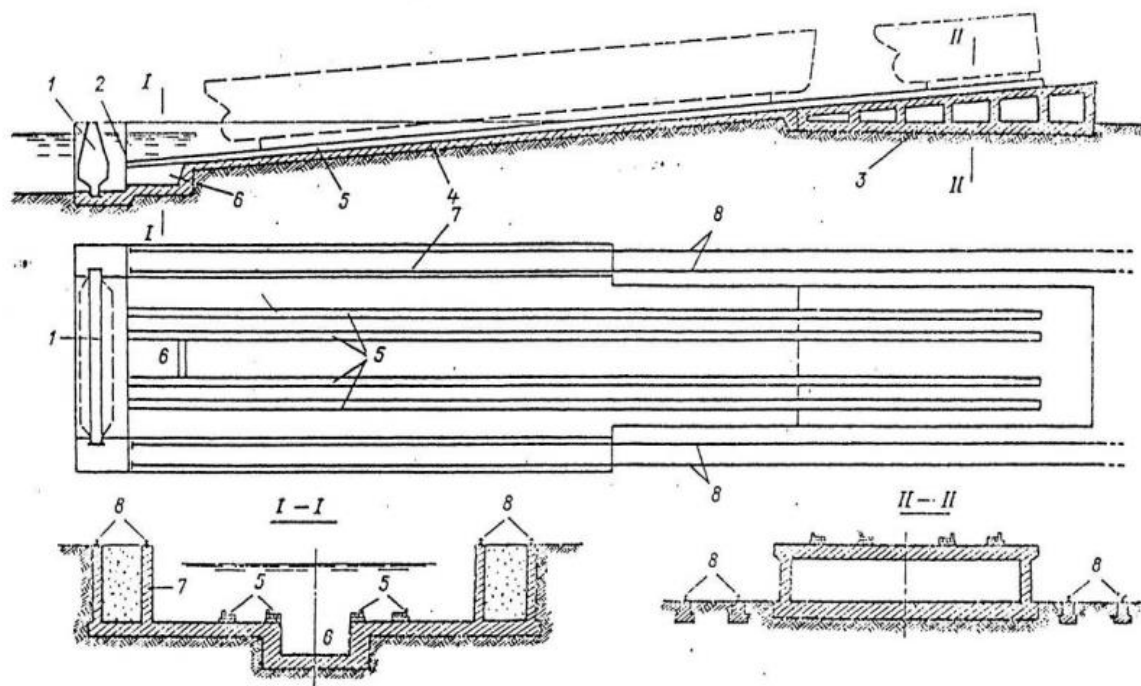
2.1. Uzdužni navoz

Uzdužni navoz sve donedavno bio je osnovno građevno mjesto većine brodogradilišta za brodove težine maksimalno do 150 000 *DWT*. Ovaj tip građevnog mjesta se i danas koristi u starijim brodogradilištima (sva velika brodogradilišta u Republici Hrvatskoj imaju uzdužne navoze kao objekte namijenjene porinuću brodova). Kod brodova većih od 150 000 *DWT*, a koji se grade na uzdužnom navozu, gradnja se nužno odvija iz dva dijela.

Dimenzije navoza određuju se prema maksimalnoj duljini i širini broda koji će se na njemu graditi. Prilikom gradnje navoza mora se predvidjeti i proširenje, te se navoz uvijek gradi veći odnosno širi nego što je u tom trenutku potrebno. Duljina podvodnog dijela navoza je također značajna zbog sigurnog porinuća broda, ali i zbog visoke cijene izgradnje.

Karakteristike uzdužnog navoza su:

- armirano-betonska konstrukcija
- tehnološki nepovoljan za gradnju zbog nagiba
- tehnološki složen, nekontroliran i rizičan način porinuća broda
- moguća gradnja većih brodova (u dva dijela)
- relativno mali troškovi izgradnje naspram suhog doka
- mogućnost korištenja samo za gradnju
- maksimalno dopuštena veličina građenog broda je 150 000 *DWT*



Slika 1. Uzdužni navoz sa pripadajućim dijelovima [3]

Pripadajući dijelovi uzdužnog navoza su [Slika 1]:

- 1 – deplasmanska vrata
- 2 – prag
- 3 – estakada
- 4 – armirano-betonska ploča navoza
- 5 – saonici
- 6 – jama
- 7 – bočna stijena podvodnog dijela navoza
- 8 – dizalične staze

Skraćenje navoza se ostvaruje:

- gradnjom navoza s kružnim lukom
- navoz s pragom
- navoz s vratima

Karakteristične dimenzije navoza:

- maksimalne dimenzije broda određuju duljinu i širina nadvodnog dijela navoza
- zahtjev sigurnog porinuća određuje duljinu podvodnog dijela navoza
- dodatne površine : $a = 3 - 15 \text{ m}$; $b = 3 - 5 \text{ m}$; $d = 1,5 - 3,5 \text{ m}$
- nagib navoza iznosi (ovisno o veličini broda) od $3,5 - 7 \%$ tj. $1:30$ do $1:12$
- za zakrivljene površine navoza radijus kružnog luka iznosi $r \cong 5 \times 10^3 \div 10^4$

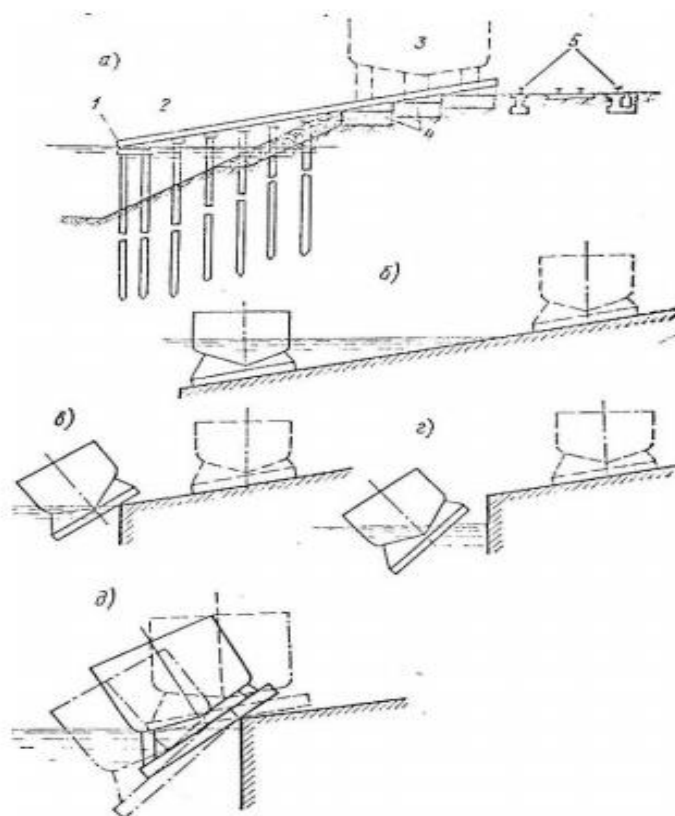
2.2. Poprečni navoz

Poprečni navoz se primjenjuje kod brodogradilišta na rijekama i jezerima, ali i u slivnim akvatorijima. Brod se gradi u horizontalnom položaju i moguće je graditi više brodova odjednom.

Karakteristike poprečnog navoza su:

- konstrukcijski jednostavniji od uzdužnih navoza
- porinuće kraće traje, dinamičnije je ali i manje opasno od uzdužnog porinuća
- sastoji se od $3 - 20$ saonika, a broj im ovisi o veličini broda koji se gradi
- nagib im se kreće $1 - 5 \%$ do $1 - 12 \%$ smještenih okomito na obalnu liniju na razmaku 3 do 12 m

Brod i saonice su podvrgnuti relativno manjim pritiscima, ali kod porinuća dugih brodova postoji opasnost od zakretanja oko uzdužne osi. Porinuće velikih brodova na poprečnom navozu primjenjuje se vrlo rijetko zbog nedovoljno izučene dinamike bočnog porinuća.



Slika 2. Način izvedbe poprečnog navoza [5]

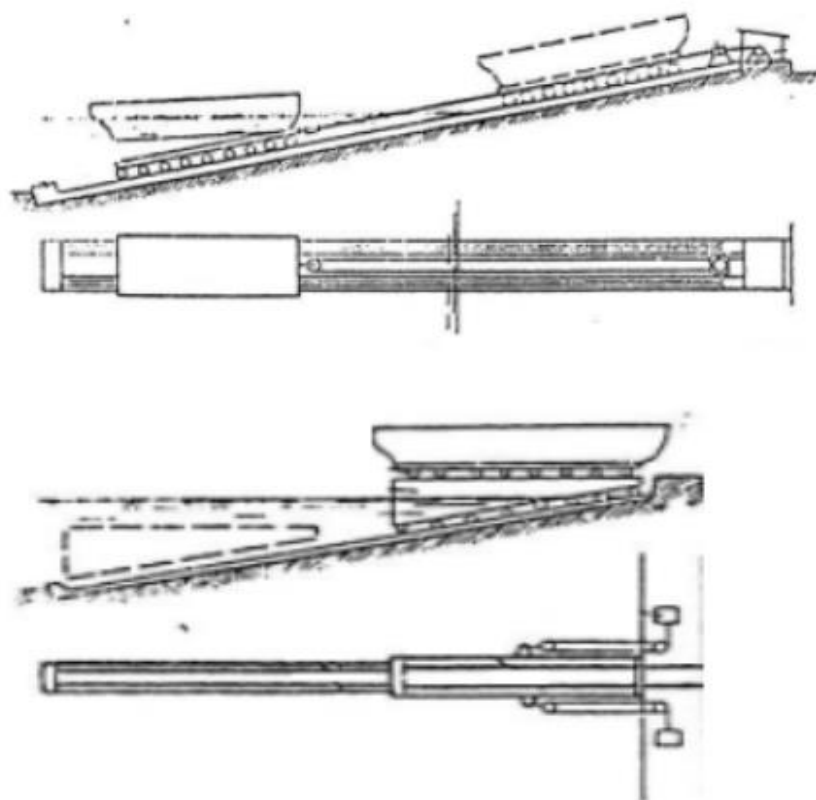
S obzirom na duljinu podvodnog dijela razlikujemo [Slika 2]:

- normalni poprečni navoz sa podvodnim dijelom
- poprečni navoz bez podvodnog dijela s pragom u razini akvatorija
- poprečni navoz s pragom iznad akvatorija

2.3. Slipovi

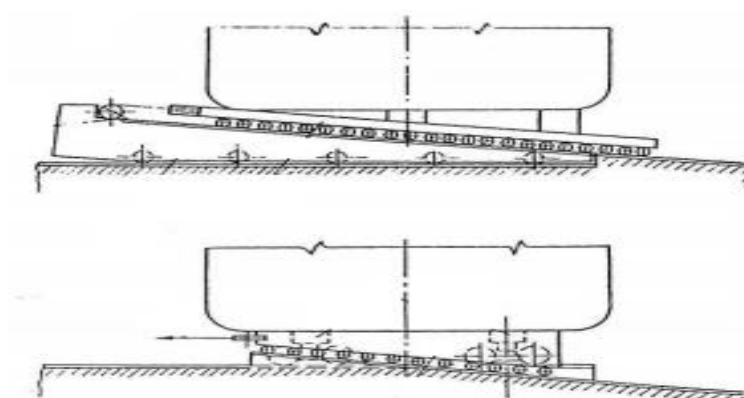
Prvi slipovi su se pojavili u 19. stoljeću za izvlačenje brodova na kolicima, a 30.-tih godina prošlog stoljeća počeli su se koristiti prvi mehanizirani uzdužni i poprečni slipovi za izvlačenje i porinuće brodova na/sa horizontalnog građevnog mjesta. Karakteristika slipova je tehnološki odgovarajuća opremljena površina s određenim nagibom po kojoj se na saonicama ili kolicima izvlači ili vrši porinuće broda.

Uzdužni slipovi mogu biti u vidu ravne platforme s kotačima ili kolica rešetkaste konstrukcije kao klin (tzv. kosnik-kolica). [Slika 3]



Slika 3. Izvedbe slipova sa platformom i kosnik-kolica [5]

Poprečni slip je tehnološki povoljniji od uzdužnog jer ima kraći podvodni dio te je zbog toga jeftiniji, ali on zauzima puno više obalnog dijela [Slika 3].

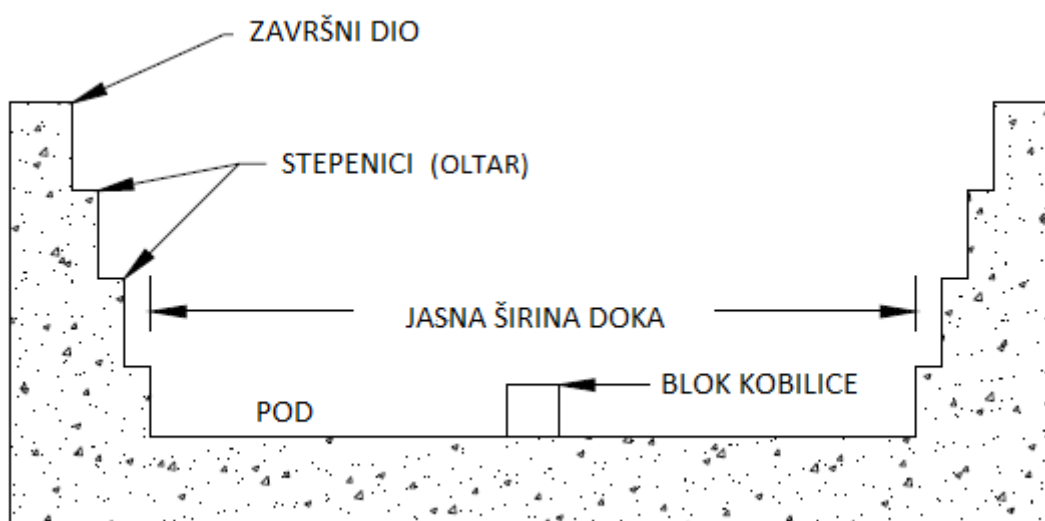


Slika 4. Prikaz izvedbe poprečnog slipa [5]

2.4. Suhi dok

Suhi dokovi su veliki fiksni bazeni koji su sposobni prihvatiti brodove svih veličina i kapaciteta čak iznad 200 000 tona. Osnovna građevna struktura modernih suhих dokova se zasniva na izgradnji poda, zidova doka, prednjeg (čeonog) zida i vrata doka.

Stepenice (oltari) se nalaze kod suhих dokova starije gradnje. Stepenice su se ugrađivale unutar zidova boka i čeonog zida uslijed strukturne stabilnosti i koristili su se kako bi se olakšali radovi na pramcu i boku broda [Slika 5].



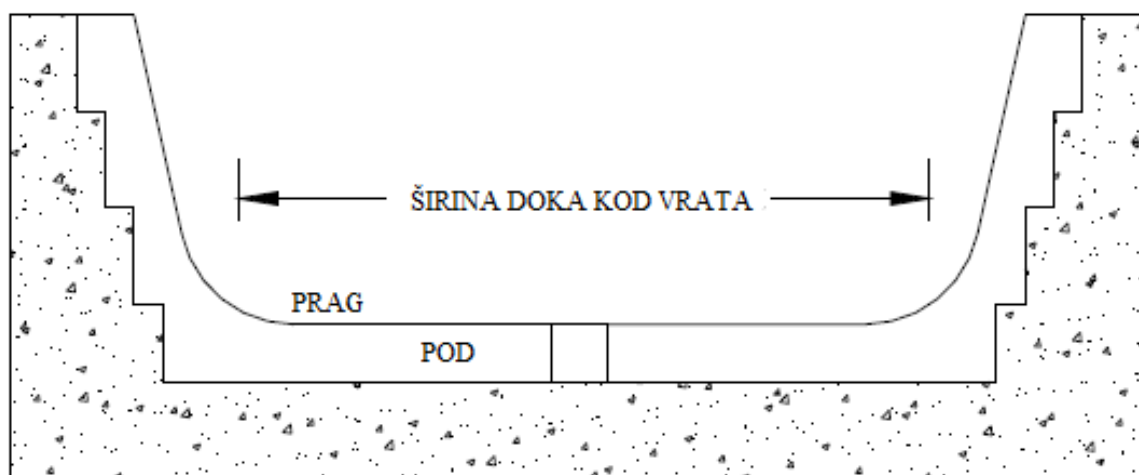
Slika 5. Poprečni presjek suhog doka s oltarima [4]

Prednosti suhих dokova su:

- dugi vijek trajanja strukture
- niski troškovi održavanja (pod i zidovi mogu biti izgrađeni od granita ili betona koji traju veoma dugo s povremenim održavanjem)
- nema ograničenja veličine suhog doka
- ne treba se brinuti za stabilitet broda ili doka
- može se opremiti i sa srednjim vratima koji omogućuje naplavljivanje jedne polovice doka, dok druga polovica pri tome ostaje suha

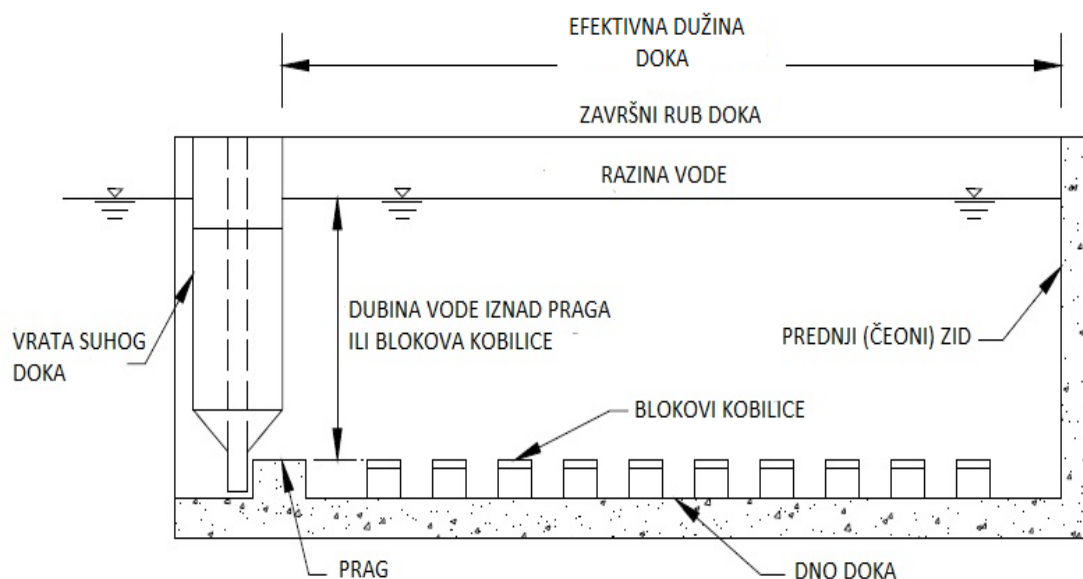
Nedostatci suhih dokova su:

- visoka početna cijena gradnje
- fiksne je strukture pa se ne može pomicati
- otežan protok ljudi i materijala
- otežano ventiliranje i osvjetljenje zbog rada u rupi
- teško je povećati dimenzije doka naknadnom rekonstrukcijom



Slika 6. Efektivna širina doka i širina doka na vratima [4]

Širina doka se definira kao maksimalna udaljenost između dva vertikalna zida ili stepenica (oltari) iznad razine potklada kobilice. Ova širina je veća od širine suhog doka na ulazu. Dubina se mjeri od praga ili potklada kobilice na ulazu pri najmanjoj mogućoj plimi, dok se duljina mjeri kao horizontalna udaljenost na centralnoj liniji od čeonog zida do vrata doka.



Slika 7. Uzdužni presjek doka s elementima strukture [4]

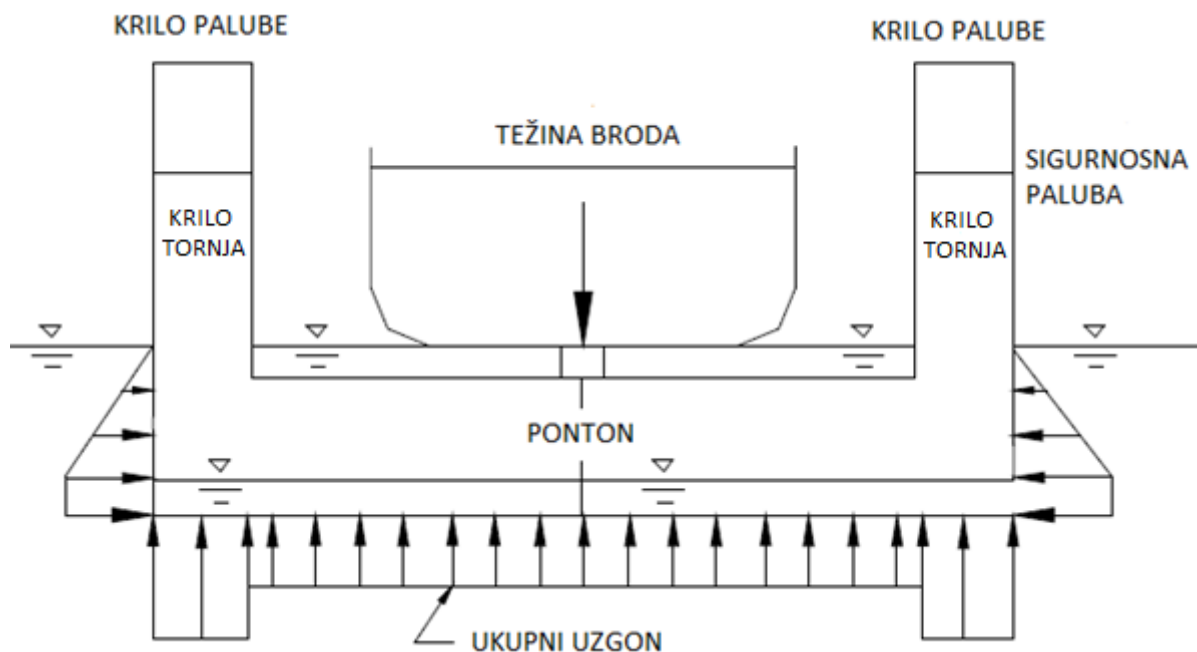
2.5. Plutajući dokovi

Plutajući dokovi su strukture dovoljno velikih dimenzija, čvrstoće, istisnine i stabiliteta koji koristeći uzgon mogu podignuti brod iz vode u svrhu pregleda, bojanja ili popravka. Ugradnjom odgovarajuće tehnološke opreme mogu se koristiti i za gradnju broda. Plutajući dokovi imaju mogućnost podizanja tereta tonaže od 100 do 100 000 tona, a mogu i prelaziti iznos od 100 000 tona.

Konstrukcija plutajućeg doka sastoji se od:

- pontona
- tornjeva

Pontoni su horizontalni konstrukcijski elementi na koje nasjeda brod i pomoću njih je ostvarena dodatna zaliha istisnine. Tornjevi su vertikalni konstruktivni elementi koji čine bok, a služe za održavanje potrebnog stabiliteta kod zaranjanja ili podizanja broda. Koriste se za smještaj pogonskog uređaja za pumpe i ostale drenažne naprave, podupiranje te osiguranje potrebne čvrstoće.



Slika 8. Dijelovi plutajućeg doka i sile koje djeluju na njega [4]

U pontonima i određenim dijelovima tornjeva smješteni su balastni tankovi. Radni postupak plovnog doka sastoji se u naplavljivanju vlastitih tankova čime se ponton može spustiti u vodu kako bi iznad njegove platforme uplovio brod. Nakon toga se izbacuje voda iz njegovih tankova i plutajući dok se podigne skupa sa brodom iznad razine vode te se omogućuje rad na suhom.

Prednosti ovi tipova dokova su:

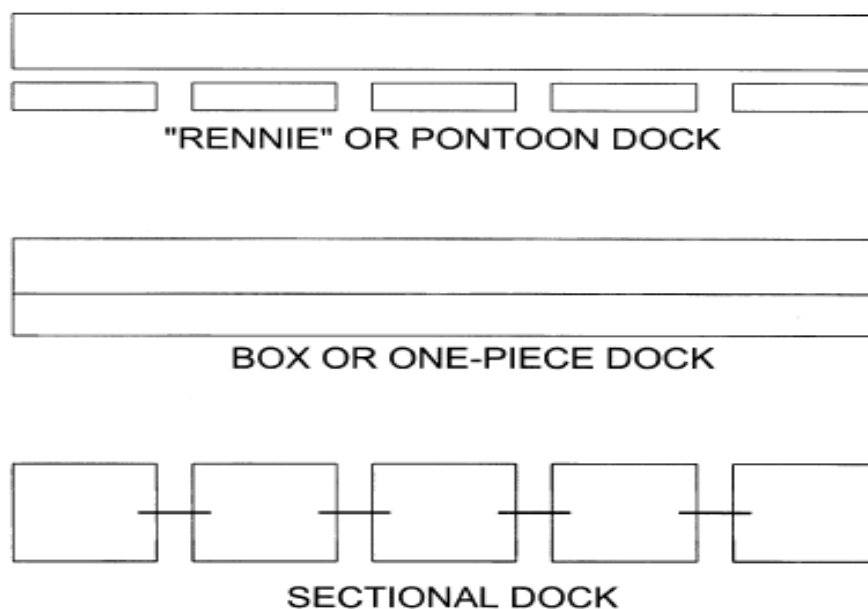
- nemaju izgled pravih dokova
- brodovi se mogu lako prenijeti do ili od obale
- mogu se graditi na mjestu najnižeg ponuđača i zatim dotegnuti na mjesto upotrebe (ovaj način drži nižu cijenu konstrukcije)
- mogu biti prodani na svjetskom tržištu, omogućavajući brodogradilištu značajan povrat kapitala te posljedično jednostavnije financiranje kod banaka
- brodovi koji su duži od doka mogu se dokovati preko pramaca ili krme
- dok se može pomaknuti što dalje od obale u duboku vodu za prihvat ili porinuće broda
- mogu se koristiti kod hidrotehničkih građevinskih radova (rovanje ili kopanje)

Nedostatci su im:

- potrebno značajno održavanje pumpi, ventila i čelične konstrukcije
- protok ljudi i materijala uvelike je ograničen s brodskim stubištem i upotrebom dizalica
- velike plimne varijacije mogu otežati prolaze i privezivanje

Plutajući dokovi se mogu klasificirati u tri kategorije:

- ponton
- kutija ili jednodijelni
- sekcijski



Slika 9. Jednostavna klasifikacija plutajućih dokova [4]

2.5.1. Pontonski tip doka

Pontonski tip doka ima neprekidne bočne zidove (tornjeve) sa sekcijom pontona. Pontonski dijelovi mogu biti pojedinačno dokovani zbog remonta. Karakteristika ovog plutajućeg doka je slabija čvrstoća u uzdužnom smjeru od jednodijelnog zbog bočnih zidova. Težina mu je obično puno veća od jednodijelnog doka zbog dvostruke poprečne pregrade na prazninama (kraj pregrade za svaku pontonsku sekciju), a bočni zidovi moraju biti teži kako bi dobili potrebnu uzdužnu čvrstoću.

2.5.2. Jednodijelni plutajući dokovi

Ovaj tip doka je izgrađen u jednom komadu s kontinuiranim bočnim zidovima i pontonima. Može biti lakši i jači od drugih vrsta plutajućih dokova jer je njegova puna dubina efektivna u uzdužnom savijanju. Jednodijelni plutajući dok je puno teže graditi u dijelovima i spajati na vodi.

2.5.3. Sekcijski plutajući dokovi

Plutajući dok koji nema strukturni kontinuitet nad svojom dužinom se naziva sekcijski dok. Neki sekcijski dokovi se grade vezanjem drva koji poravnavaju dijelove, ali ne mogu izdržati velike sile. Ostali sekcijski dokovi se ponašaju poput pontonskog tipa doka. Operacije balasta i ispuštanja balasta mogu biti kritični za ovu vrstu doka zbog savijanja doka.

2.6. Lučke tračnice

Lučke tračnice služe za spuštanje plovila (broda) u vodu niz kosinu, a njihov kapacitet podizanja se kreće od 100 do 6 000 t. U teoriji su moguće i veće tonaže, ali su zato ekonomski puno prikladniji plutajući dokovi.

Njihove prednosti su:

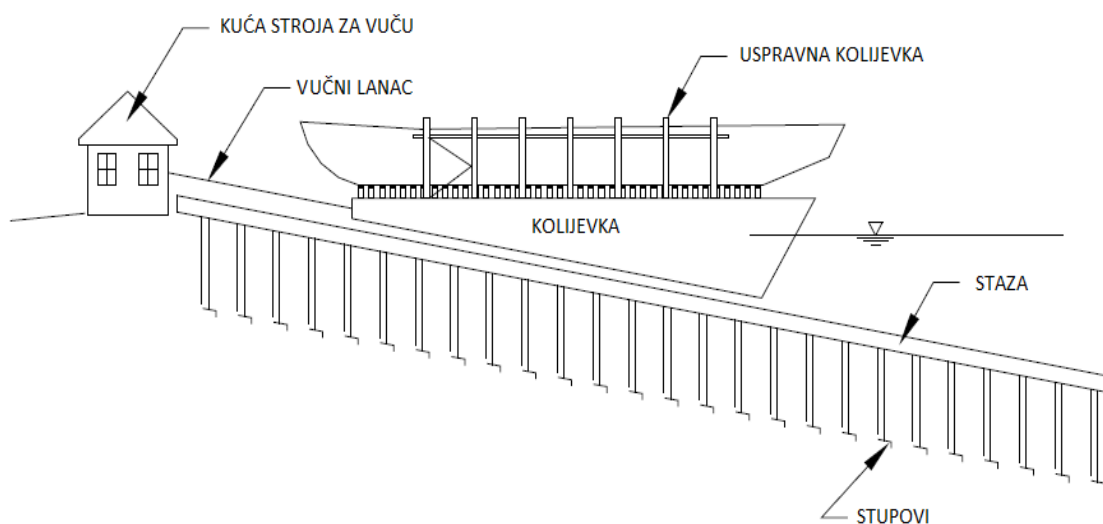
- niska cijena izgradnje
- brže izvođenje operacija
- brodovi se mogu lako prenositi s obale i na obalu
- brodovi koji su duži od doka mogu se dokovati preko pramac ili krme

Nedostatci su im:

- potrebno podvodno održavanje
- plovilo može oštetiti stazu
- mehanički sustav zahtijeva zamjenu pokretnih dijelova
- staze su fiksne i ne mogu se lako pomicati

Ovaj tip suhog doka čini [Slika 10]:

- kolijevka
- vučni lanac
- vučni stroj
- nagnuta staza na temeljima



Slika 10. Lučke tračnice sa svojim pripadajućim elementima [4]

Kolijevka, koja se kotrlja na valjcima ili kotačima, spušta se u vodu duž nagnute staze sve dok se ne postigne dovoljna količina uzgona i brod zaplovi u svom prirodnom položaju. Kolijevka se zatim vuče po stazi i brod nasjeda na blokove. Nakon što brod nasjeda na blokove kobilice kolijevka se izvlači.

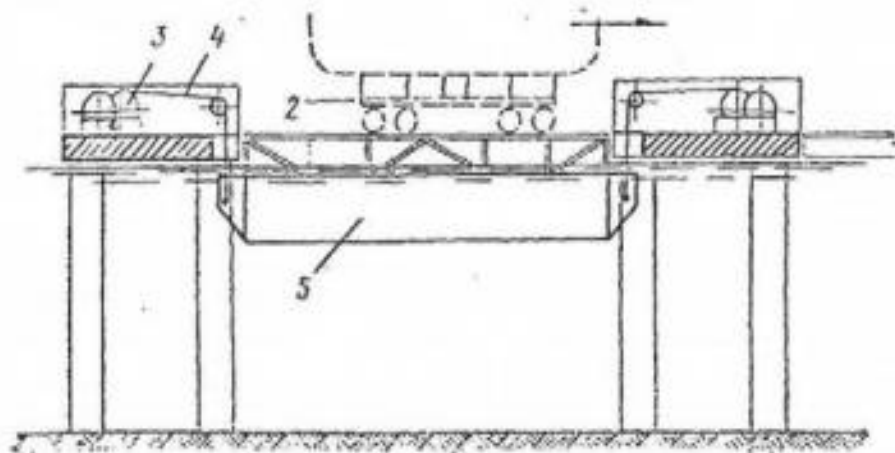
2.7. Vertikalni liftovi

Radnju vertikalnih liftova podrazumijeva vertikalno podizanje ili spuštanje broda u more. Kapacitet podizanja im se kreće od 100 do 24 000 t. Najčešći tip vertikalnog lifta je Syncrolift i čine ga:

- platforma
- mehanizam za podizanje
- dizalica uz pristanište

Uz navedeno, tu su i snažna vitla koja podižu i spuštaju platformu, sistem upravljanja i kontrole vitala te čelična užad.

Platforma se spušta u more dok se dovoljna količina vode ne uzdigne iznad blokova i brod ne zaplovi u svom prirodnom položaju. Dok je brod podignut, svi motori sinkronizirano rade kako bi osigurali jednaku vuču u istoj mjeri, bez obzira koliki se teret nalazi na njemu.



Slika 11. Vertikalni lift i njegovi funkcionalni elementi [5]

Pripadajući dijelovi vertikalnog lifra su [Slika 11]:

- 1 - estakada
- 2 - transportna kolica
- 3 - vitla
- 4 - užad
- 5 - platforma

Prednosti lifta su:

- brze operacije
- laki prijenosi
- može se podesiti na zadani trim broda

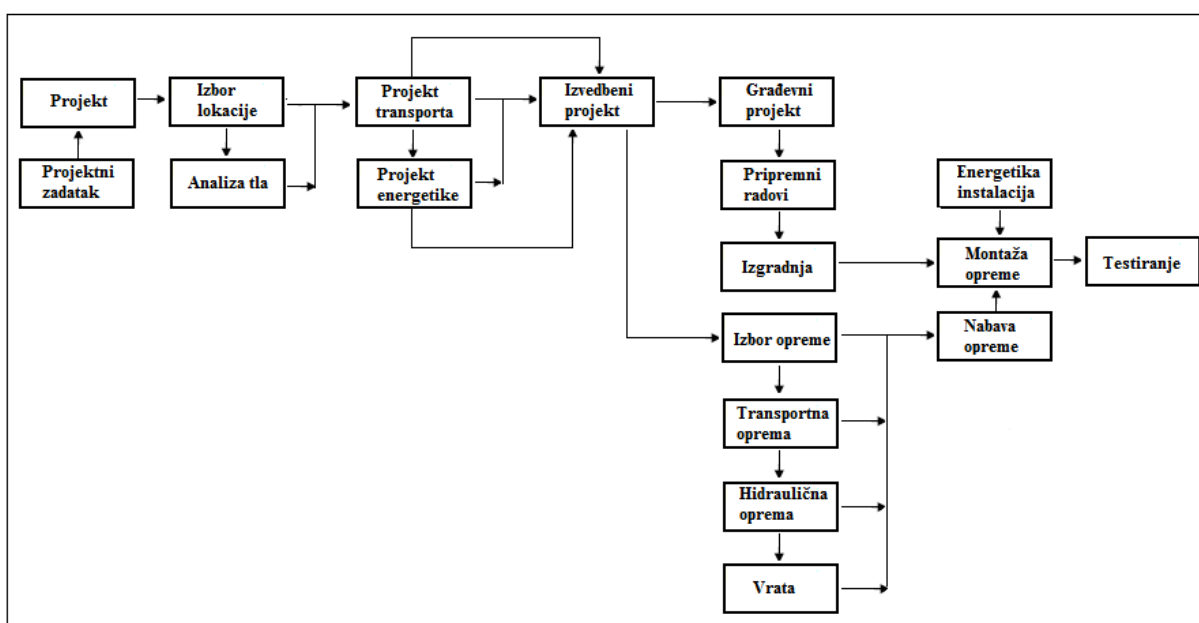
Nedostatci lifta su:

- visoka početna cijena
- visoka cijena održavanja
- teško kopati ispod platforme
- potrebni uređaji visoke tehnologije
- fiksna struktura

3. OSNIVANJE SUHOG DOKA

Za osnivanje suhog doka potrebno je najprije odrediti da li će dok biti remontni, građevni ili građevno-remontni dok. Planiranje suhog doka uvelike ovisi o budućem vlasniku, lokaciji (teritoriju i akvatoriju), dimenzijama, konfiguraciji i nosivosti tla te okolišnim uvjetima.

Odabir se obavlja u preliminarnoj fazi osnivanja doka, na temelju modela upotrebe doka (ključan faktor je odabir ekonomski isplativih maksimalnih dimenzija remontnog/građevnog doka). Danas se većinom grade dokovi koji imaju obje mogućnosti.



Slika 12. Preliminarna shema osnivanja suhog doka

Za izgradnju suhog doka potrebno je odrediti do kojih dimenzija (duljine, širine i gaza) osnovani dok može prihvaćati brodove. Danas postoje dokovi koji imaju točno specificirane dimenzije i u mogućnosti su graditi samo neke tipove brodova. U projektu se između ostalog mora odrediti geometrija suhog doka (svaki od mogućih geometrijskih oblika ima svoje prednosti i mane).

Tablica 1. Okvirni prikaz dimenzija doka za gradnju određenih tipova broda [7]

Tip broda	Širina [m]	Dužina [m]	Dubina [m]
podmornice	27,4	192	13,1
fregate	27,4	198	12,8
kruzeri	35	243,8	11,6
pomoćni	39,6	259,1	13,7
nosači aviona	54,9	365,8	16,8

Kvadratni oblik doka se koristi ukoliko je u namjena gradnje brodova za rasuti teret ili tandem gradnja većeg broja objekata. Uz navedeno moguće je proširenje doka u budućnosti. Polukružni završetci doka ne mogu se naknadno proširivati, a isto vrijedi i za trapezni oblik koji se koristi za gradnju brodova manjih dimenzija.

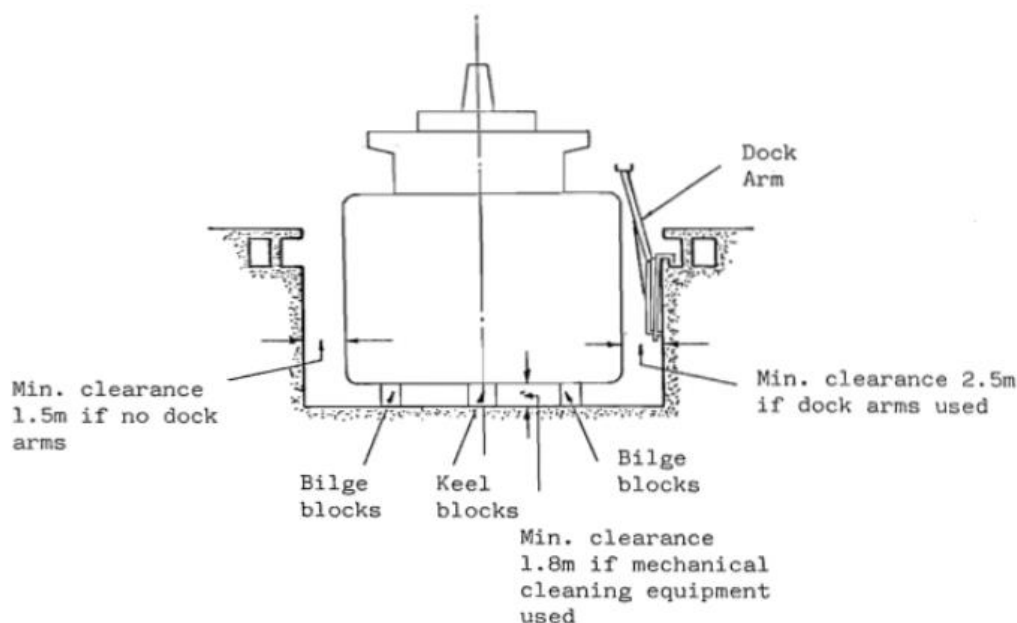
Tablica 2. Prikaz karakteristika za različite oblike čela doka [7]

Projekt	Trapezni	Polukružni	Kvadrat
Ekonomičnost oplata	Odlično	Prihvatljivo	Loše
Utrošak betona	Dobro	Odlično	Loše
Jednostavnost radova na stazama	Dobro	Odlično	Loše
Jednostavnost instalacija uslužnih objekata	Dobro	Loše	Odlično
Uklapanje na opći plan brodogradilišta	Dobro	Dobro	Loše
Mogućnost budućih proširenja	Prihvatljivo	Loše	Odlično
Za brodove najvećih dimenzija (nosači aviona)	Loše	Uredu	Odlično
Za druge brodove	Dobro	Dobro	Prihvatljivo
Prikladnost tandem gradnje	Loše	Prihvatljivo	Odlično

Nakon određivanja samih projektnih zahtjeva, kreće se s detaljnom razradom karakterističnih detalja unutar i oko doka. Čisti prostor ispod broda ovisi o visini kobiličnih potklada, a najčešće je poželjno da se radnik može uspravno kretati ispod samog broda. Određivanje visine potklada ovisi o svakom pojedinom doku te tehnologiji koja se koristi za popravke i gradnju.

U slučaju da se koristi mehanička oprema na kotačima ili valjcima za čišćenje i bojanje s donje strane broda, zahtijeva se širi prostor i minimalna visina kobiličnih potklada od 1,8 m.

Širina doka uvjetuje maksimalnu širinu broda koji može ući u taj dok, a pri samome planiranju novog doka obavezno se ostavlja oko 1,5 m do 2,5 m prostora sa svake strane. Ta dodatna širina ili dodatni prostor koristi se za tehnološke operacije koje se odvijaju cijelom duljinom boka broda.

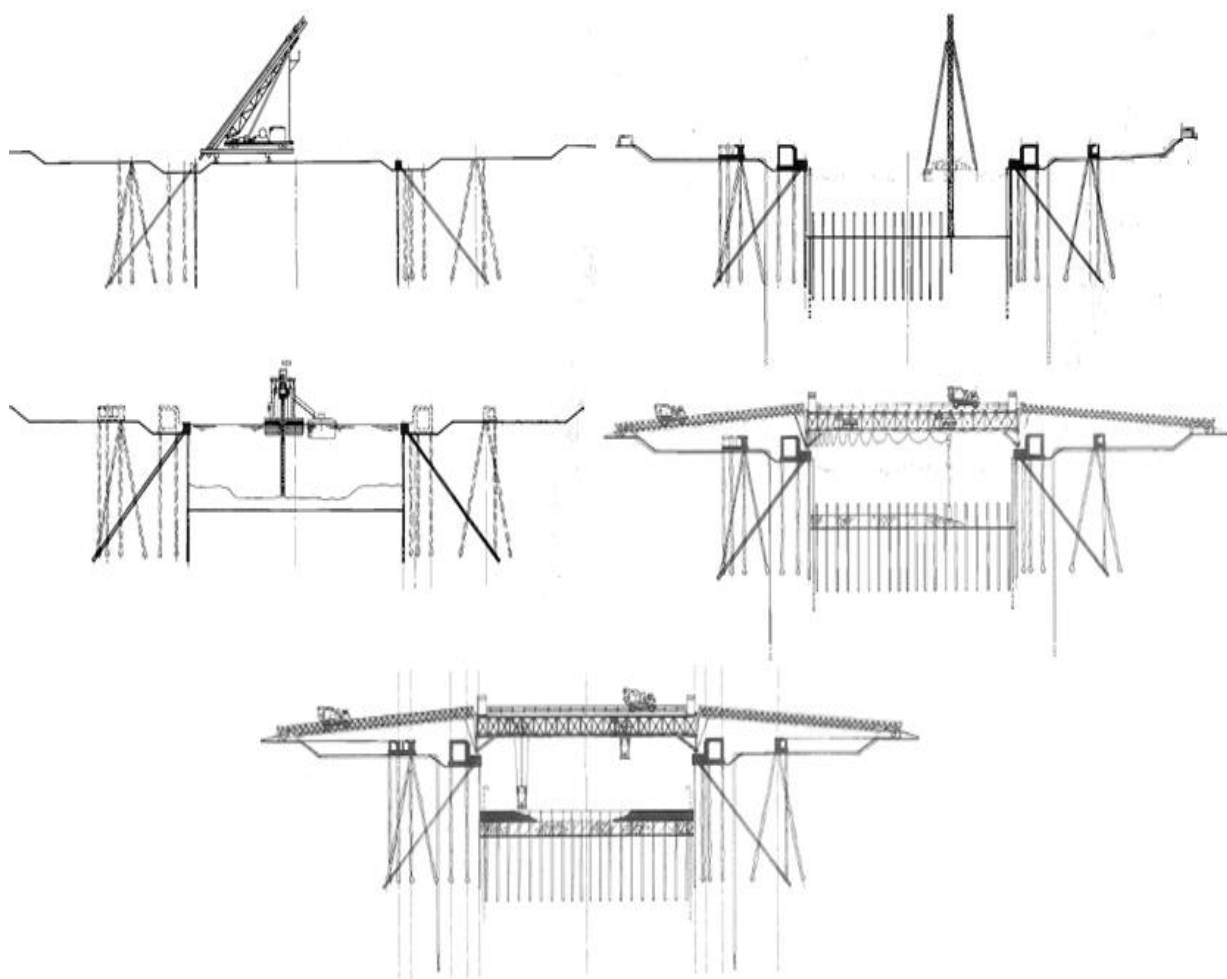


Slika 13. Raspored prostora koju propisuju pravilnici [6]

Ukoliko se u njemu koriste "ruke za dok" mora se osigurati minimalni dodatni prostor od 2,5 m, a u nekim situacijama čak i do 6 m na svakoj strani. Dodatni prostor negdje se može dobiti i uklanjajući stabilizatore koji se koriste kod određenih tipova broda.

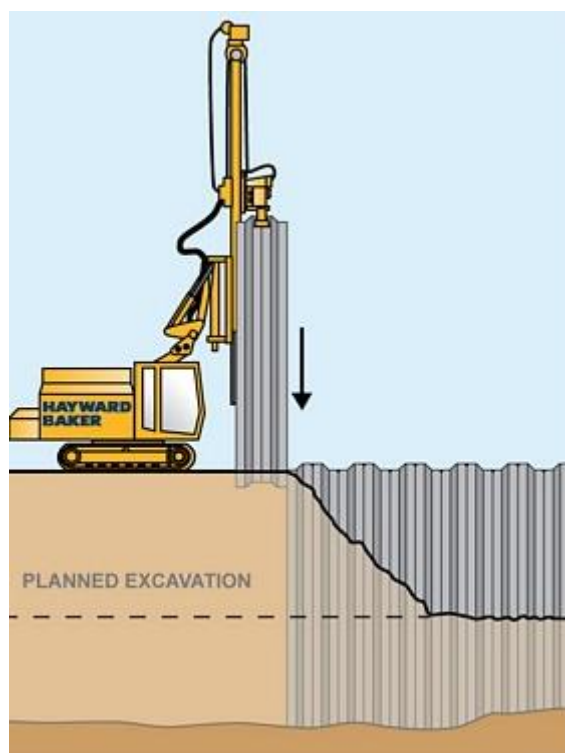
4. IZGRADNJA SUHIH DOKOVA

Izgradnja kapitalnih objekata u brodogradilištu veoma je važan i odgovoran poduhvat koji mora osigurati dug vijek trajanja strukture (min. 50 god.) i visok stupanj vodonepropusnosti. Najprije se zahtjeva detaljna analiza okolišnih uvjeta tj. geotehničke, hidrološke i atmosferske uvjete i uz sve to mora postojati projekt gradnje doka. Proces izgradnje suhog doka čine: iskopavanje, isušivanje vode, postavljanje pilota, betoniranje, postavljanje opreme i instalacija. Uz navedene postoje i dodatni radovi koji uključuju: poboljšavanje tla, sidrenje i smještaj posebnih struktura koji su dio opreme suhog doka (vrata doka, tračnice).



Slika 14. Glavne etape tijekom gradnje doka [8]

Nakon saznanja o konfiguraciji tla i razini podzemne vode na toj lokaciji, kreće se s izvođenjem radova koji se odvijaju u 5 faza. U prvoj fazi izgradnje suhog doka dolazi do ograđivanja jame. Najprije na lokaciju dolaze strojevi koji postavljaju žmurje (talpe, platnice) duž planiranog iskopa na dubinu koja sprječava prodiranje podzemnih voda. Žmurje služi za osiguranje građevne jame od tlaka tla i tlaka vode. Osim od čelika žmurje može biti i od armiranog betona. Koriste se za temeljenje, pregrade i bočne zidove. Čelične talpe projektirane su da pružaju dug vijek trajanja. Talpe se instaliraju u tlo pomoću stroja koji zabija pločaste limove do točno određene dubine, a koristi se i za završne radove ukoliko je na nekom području teško i gusto tlo. Ukoliko se želi osigurati dodatna čvrstoća, postavljaju se i sidra.



Slika 15. Vozilo koje utiskuje pločaste čelične talpe u zemlju [9]

U drugoj fazi izgradnje suhog doka odvija se kopanje jame i čišćenje zabijenih talpi s unutarnje strane. Budući da podzemne vode predstavljaju jedan od najvećih problema za izgradnju suhog doka, s obzirom na moguću eroziju ili urušavanje iskopane strukture, u ovoj fazi radi se drenažni sustav i konstrukcija odvodnih kanala.

Kvalitetno izgrađenim drenažnim sustavom s odvodnim kanalima kontrolira se utjecaj vode i osigurava sigurna struktura u bilo kojim uvjetima. Također se u ovoj fazi postavljaju staze za dizalice te se vrše instalacije dubinskih pumpi.

Kada se vrši proces iskopavanja jame, zna se dogoditi da tlo u dostupnoj dubini nema dovoljnu moć nošenja čime bi slijeganje bilo izrazito veliko. U takvim slučajevima radi se duboko temeljenje građevine među koje spada temeljenje na pilotima. Temeljenje koje se vrši pomoću pilota spada u treću fazu izgradnje. Piloti su stupovi od čvrstog materijala koji prenose sile od građevine na dublje slojeve tla. Za strukture s velikim pojedinačnim opterećenjima preporuča se upotreba stupova s velikim promjerom ili pločasti profil zida ispunjen betonom.

Kod treće faze izgradnje dubinskim pumpama snižava se razina vode na -2 m (pumpe su instalirane u drugoj fazi). Osim dubinskih pumpi, u podu doka instaliraju se bunari koji omogućavaju da se tlak snizi.

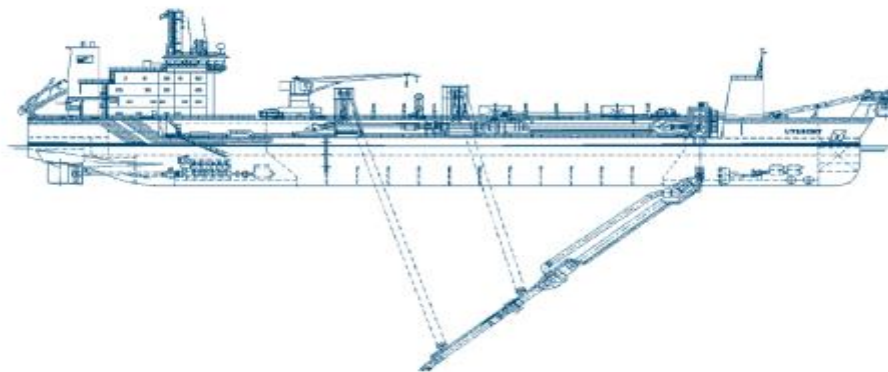
Sljedeća etapa zasniva se na nasipanju materijala na pripremljenu podlogu. Strojevi valjaju nasipani materijal u svrhu dobivanja sloja određene debljine. Kriterij za odabir materijala koji je prikladan za nasipanje temelji se na postizanju odgovarajuće čvrstoće, krutosti i vodonepropusnosti nakon zbijanja. U ovoj etapi završava se izgradnja staza za dizalice i kompletira se sustav odvoda.

U završnoj fazi pomoću dubinskih pumpi smanjuje se tlak vode na razinu od -5 m te se vrši isušivanje jame. Ova faza uključuje nasipanje armiranog betona na nasuti materijal te se tako oblikuje pod doka. Zadnji radovi koji se izvode na izgradnji suhog doka radovi su izgradnje pumpne stanice.

4.1. Kopanje, krčenje i nasipanje

Kroz cijeli period kopanja najvažniji su zadatak geomehanička istraživanja kako bi se skupile informacije o prirodnom sastavu tla i kvaliteti urađenog posla. Oprema koja se koristi za kopanje mora osigurati sigurnu strukturu iskopane jame s dobrom nosivosti, što znači potpuno uklanjanje mulja i mekanog dijela tla. To se može postići s dva tipa bagera:

- grabilicom
- usisni bager



Slika 16. Bager koji usisava mulj i mekše dijelove tla [10]

Usisni bager radi dok je brod usidren lopaticama ili sidrima, a proces se sastoji od snažnog rezanja u kombinaciji s usisavanjem. Najčešće se koriste za izgradnju ili proširenje luke i izgradnju i proširenje plovnih kanala. Iskopani zemljani materijal prevozi se brodom ili se pumpa na obalu pomoću cjevovoda.

Velika količina iskopanog mulja i drugih mekih dijelova tla mora se kopati s oprezom i efikasno sa specijalnom opremom. Površina na kojoj se nasipa novi materijal mora biti čista.

4.2. Zemljani radovi

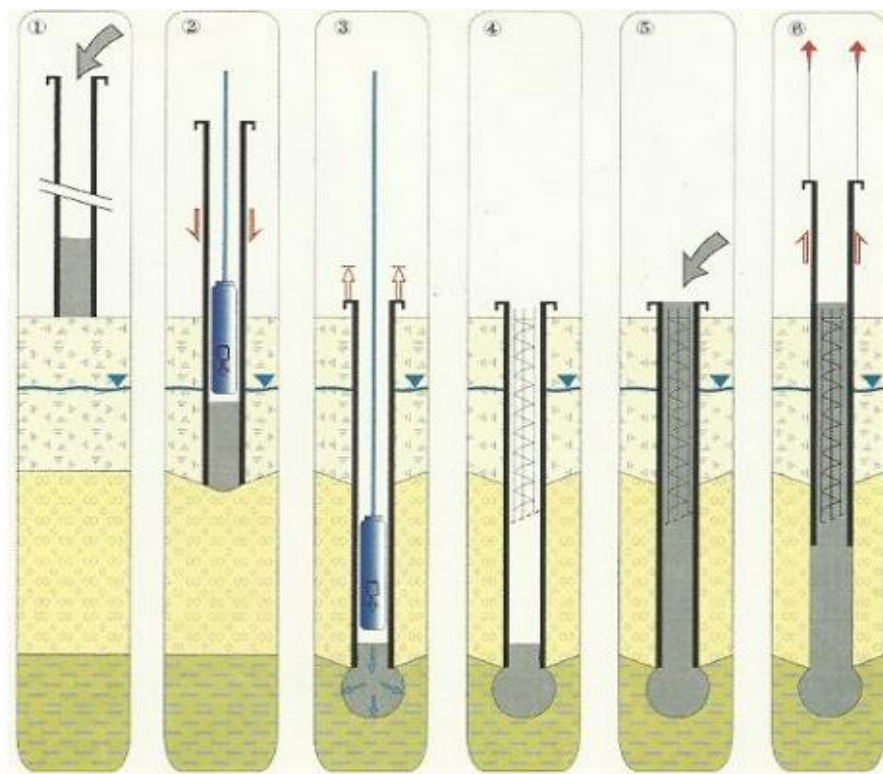
Zemljani radovi koji se vrše pri gradnji suhog doka ne razlikuju se od drugih građevinskih radova. Kod teških suhih dokova iskopana se zemlja treba uklanjati na takav način kako bi se održavalo isto opterećenje na dnu iskopa kroz cijeli period građevinskog procesa. To je bitno jer je može doći do rastapanja donjeg dijela tla ili pucanja iskopanog dna s malim vanjskim pritiskom.

4.3. Duboko temeljenje

Ugradnja nosećih stupova za suhi dok nezaobilazan je posao i oni moraju biti betonski i ako je moguće spojeni. Kod stupova (piloti) koji se opterećeni različitim opterećenjem (tlačno, torzija), preporuča se upotreba betonskih ili Franki pilota, dok se čelični izbjegavaju.

Franki piloti mogu biti izgrađeni u gotovo svim uvjetima tla pa se primjenjuju pri gradnji doka. Oni mogu izdržati vrlo visoke tlačne i vlačne sile te horizontalna opterećenja. Promjer stupova može iznositi i do 0,65 m i podnijeti opterećenja od 35 do 150 tona. Maksimalna duljina do koje sežu je 25 m, ali se najčešće koriste na duljini od 20 m.

Zahtijevaju minimalno vrijeme pripreme i moraju biti ojačani djelomično ili cijelom dužinom, ovisno o potrebi. Ovom metodom se znatno povećava nosivost tla koje okružuje pilote.

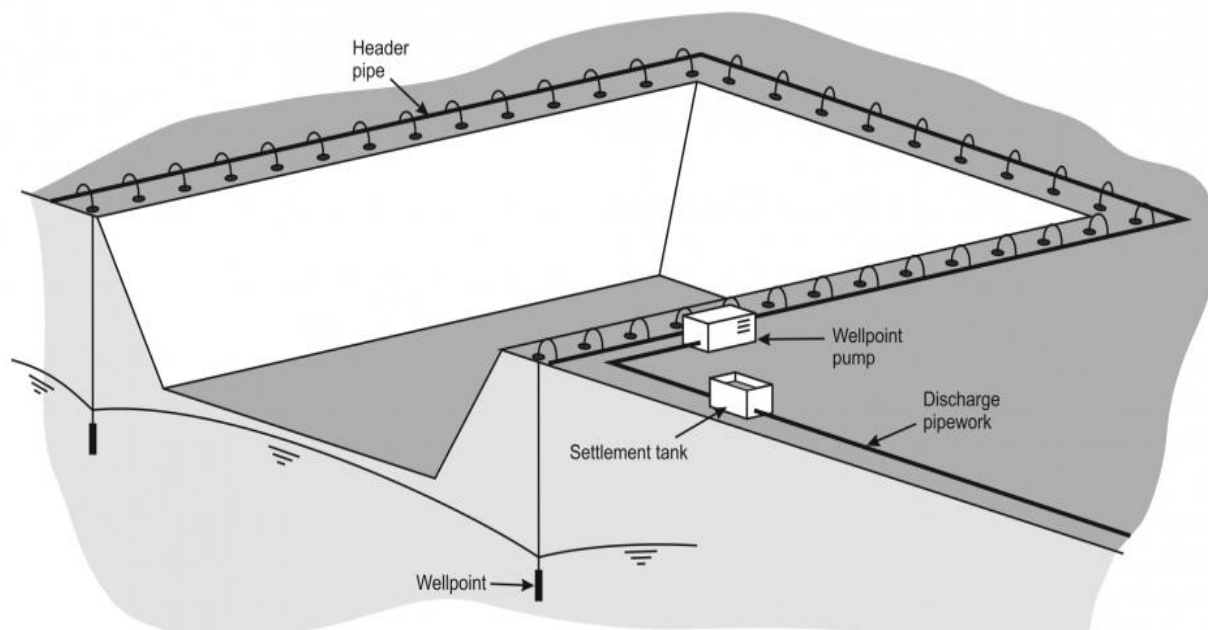


Slika 17. Sustav izgradnje Franki pilota [12]

4.4. Uklanjanje vode

Ovdje je važno poznavati uvjete tla i vode, podatke o slojevitosti tla iz kojeg je uklonjena voda, raspodjela veličine zrna i propusnost različitih slojeva. Uklanjanje vode može vršiti:

- well point sustav
- bušotine s cijevima
- mlazne pumpe



Slika 18. Princip rada well point sustava za isušivanje [14]

Well point sustav je najrasprostranjeniji sustav za uklanjanje vode koji je u mogućnosti riješiti male protoke s prašinastog pijeska do visokih protoka s pijesaka i šljunaka. Tipičan well point sustav se sastoji od niza bušotina malog promjera koji su spojeni na glavnu sabirnu cijev. Dizel ili električna pumpa stvara vakuum u sabirnoj cijevi i izvlači vodu iz zemlje i izbacuje ju kroz odvodnu cijev za vodu. Najčešće se postavlja u redovima ili prstenima oko iskopa.

4.5. Sidrenje tla

Kod suhih dokova sidrenje tla vrši se kao sidrenje za različite potporne zidove ili za temelje opterećene vlačnom silom te se moraju ispuniti ovi uvjeti:

- potrebno je održavati debljinu sloja tla iznad usidrenog tla tijekom vremena gradnje doka i operacijskog razdoblja
- usidrenje tla mora izdržati silu prednaprezanja koja je najmanje 1,5 puta veća od one koja djeluje za vrijeme operacijskog razdoblja
- prednaprezanje usidrenog tla mora se izvršiti najmanje dva puta s maksimalnom silom

4.6. Betoniranje

Sama priroda i opterećenje suhog doka zahtjeva da se svi materijali i beton visoke kvalitete moraju utvrditi na samom početku u ovlaštenom laboratoriju. Beton koji se koristi za suhi dok mora biti visoke kvalitete i čvrstoće, vodonepropustan. Mora imati dugovječnu čvrstoću same površine koja je pod utjecajem različitih opterećenja.

Za testiranje betona u laboratoriju koriste se sljedeći standardi

- Američki nacionalni standard ASTM C33 – 67
- Švedski standard B5

Beton koji će zadovoljiti uvjete standarda mora imati najmanje 15 % zrna veličine 0,25 mm koje je prosijano i koje se miješa sa cementom. Prema proizvođaču pumpa za beton daje između 250 – 400 kg/m³ betona, ako su cement i zrno zajedno prosijani na 0,2 mm.

Poželjno je da beton suhih dokova sadrži 250 – 350 kg cementa po m³ betona, a to uvelike ovisi i o samoj kvaliteti cementa.

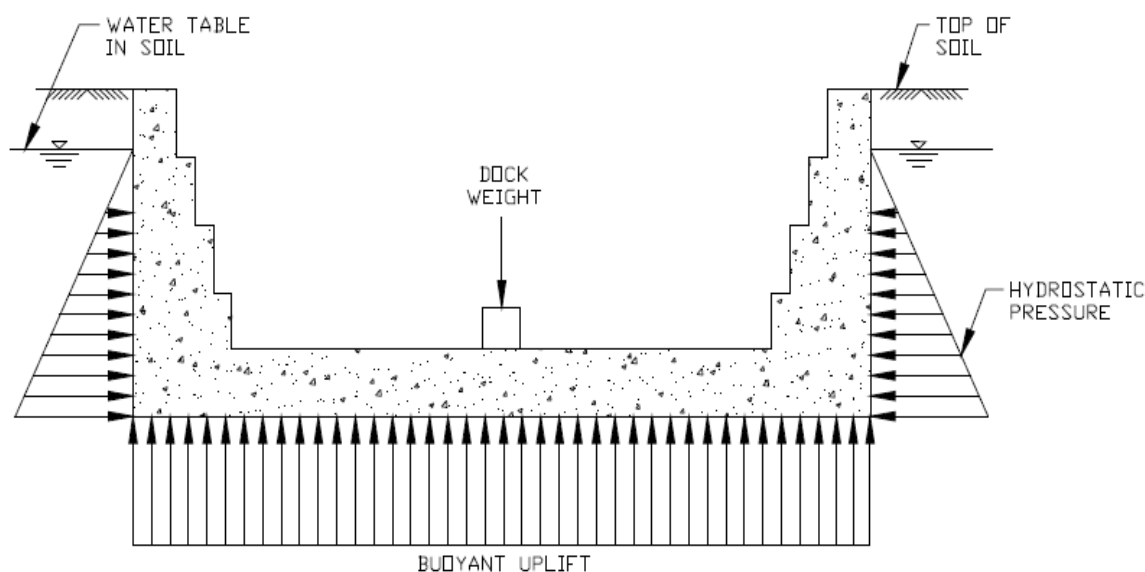
4.7. Ojačanje

Čelično ojačanje postavlja se ovisno o potrebama te mora biti čisto, bez ikakve prašine, masti ili hrđe, dok se ne ugradi u beton. Prilikom betoniranja preporuča se stavljanje u pripravnost odgovarajućeg popravljivača čelika koji služi za prilagođavanje ili popravljivanje prije samog betoniranja.

Za površine koje su podložne brzom protoku vode i za površine u kojima je beton smješten odmah iznad tla, čelično ojačanje mora imati najmanje 75 mm. Za ostale uvjete se postavlja od 25 – 50 mm, ovisno koliko su pod utjecajem vode i teškim vremenskim uvjetima.

5. PREGLED TIPOVA SUHIH DOKOVA

Suhi dok je struktura ukopana u tlo te ima prirodnu gornju granicu podzemne vode. Ukoliko tok podzemne vode uz ukopanu strukturu nije spriječen, hidraulički tlak može svojim djelovanjem istisnuti dok iz tla. Metoda smanjenja/uravnoteženja hidrauličkog tlaka određuje odgovarajuću klasifikaciju doka (i sama struktura suhog doka ovisi o rezultirajućoj raspodjeli hidrostatskog tlaka).



Slika 19. Djelovanje hidrostatskog tlaka na suhi dok [4]

Suhi dok možemo podijeliti u tri osnovne kategorije:

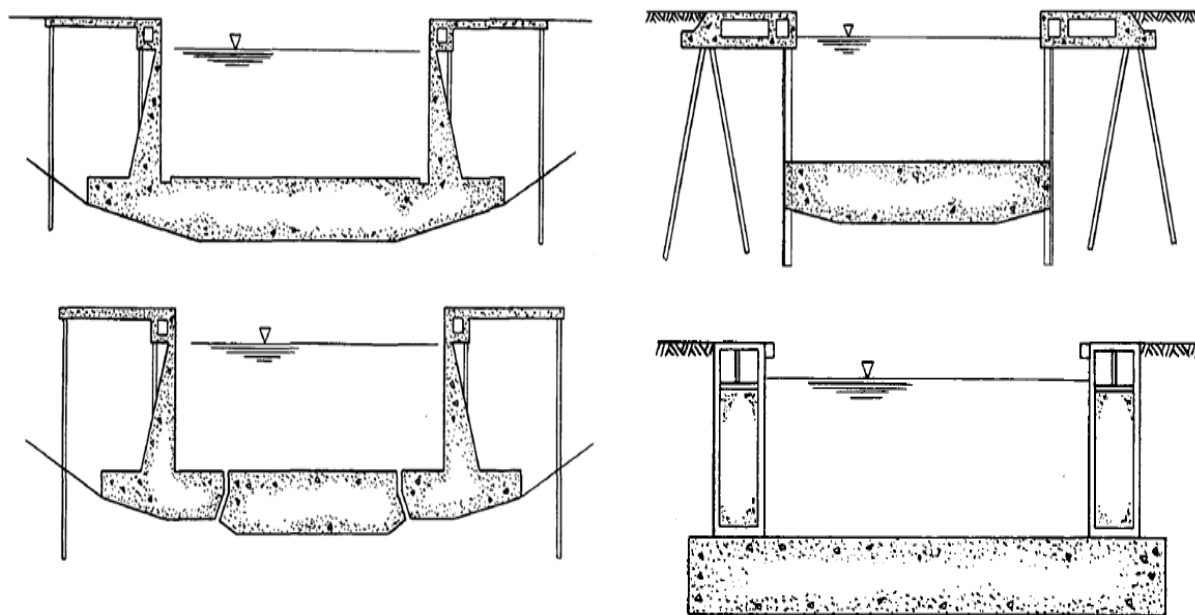
- betonski masivni (gravitacijski) dokovi
- usidreni dokovi
- drenažni dokovi

5.1. Betonski masivni (gravitacijski) dokovi

Betonski masivni (gravitacijski) dokovi imaju veće opterećenje uslijed težine vlastite konstrukcije od najvećeg hidrostatskog tlaka podzemnih voda koje djeluju na donjoj strani poda kada je dok prazan. Relativno velika težina doka uzrokuje značajnije opterećenje elastične podloge (tla), koja mora biti odgovarajuće nosivosti.

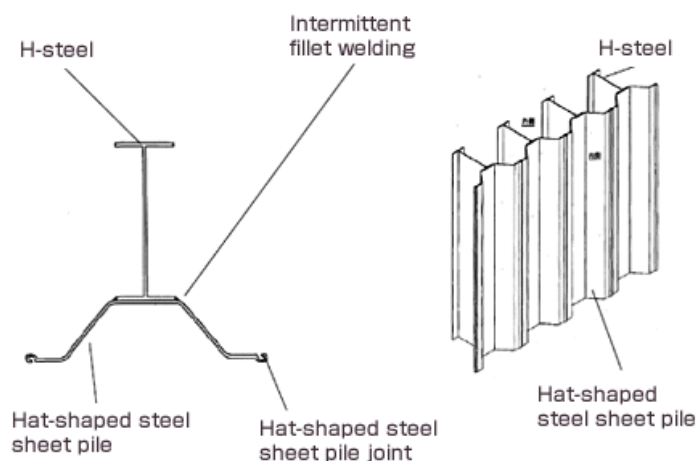
Betonsko-masivne dokove još možemo podijeliti na:

- monolitna betonska struktura poda i zidova
- razdvojena betonska struktura poda i zidova
- betonska struktura poda i zidovi od pločastih limova
- betonska struktura poda i zidovi punjeni pijeskom



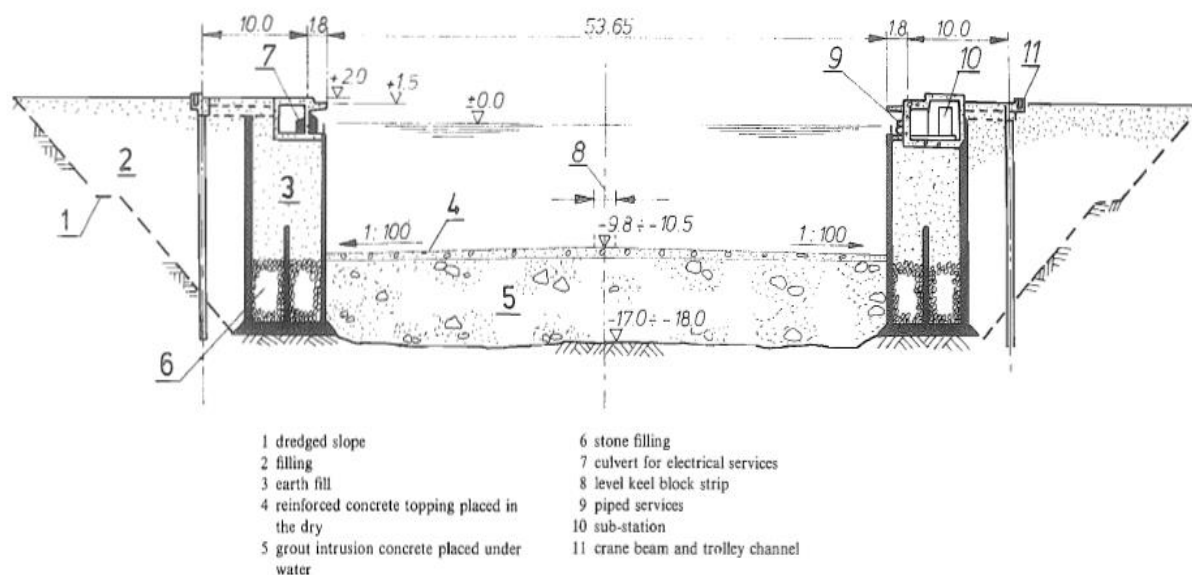
Slika 20. Različite izvedbe betonskih suhih dokova [6]

Kod dokova s razdvojenom strukturom poda i zida, pod se najčešće gradi kao homogena ploča ili kao obrnuti luk koji je poduprt zidom. Zidovi se u tom slučaju mogu graditi od armiranog betona ili pločastih limova koji se opiru izvlačenju zbog trenja tla. Također se zidovima koji su građeni od armiranog betona, zbog svoje masivnosti, debljina ploče poda smanjuje. Ovaj tip doka najčešće se koristi kod dokova velikih širina. Najveći problem dokova koji imaju veliku dubinu je snižavanje utjecaja podzemne vode. S povećavanjem dubine mora se povećati i debljina poda pa tako rad postaje dosta otežan i neekonomičan.



Slika 21. Pločasti limovi koji se koriste kao struktura zida [16]

Pločasti limovi koji se koriste u svrhu strukture bočnog zida, grade se od recikliranog čelika i imaju dug vijek trajanja. Ovi limovi imaju vrlo visoku strukturnu čvrstoću i pouzdanost te ih je lako prenositi. Također su ekonomski veoma učinkoviti jer smanjuju količinu čelika po jedinici površine zida. Imaju visok moment otpora koji se kreće do $16\,000\text{ cm}^3/\text{m}$, a moment inercije mu je $110\,000 - 990\,000\text{ cm}^4/\text{m}$.



Slika 22. Presjek betonsko-masivnog suhog doka u Scaramangi [8]

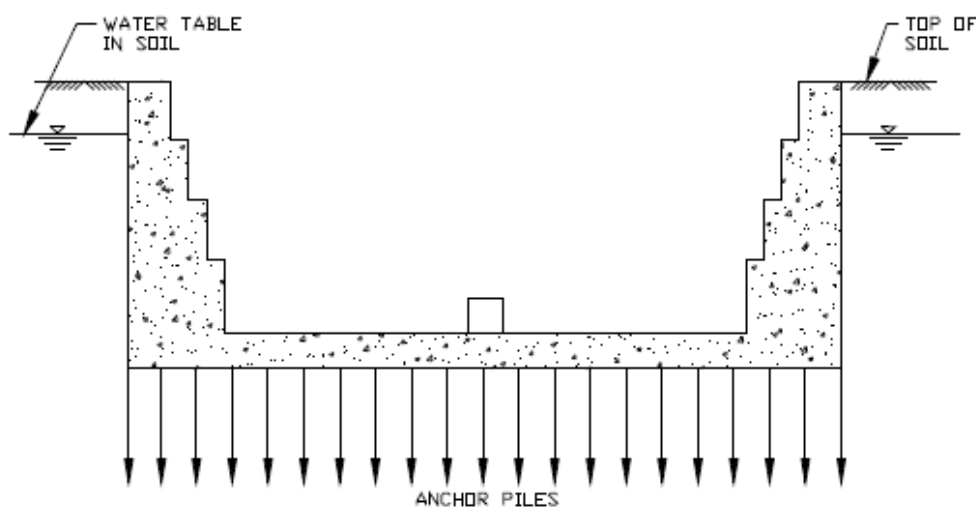
Betonski masivni dok u Scaramangi, u Grčkoj, ima dimenzije:

- efektivna duljina $L_u = 335,3 \text{ m}$
- efektivna širina $S_u = 53,65 \text{ m}$
- dubina na ulazu $h_w = 9,25 \text{ m}$

Betonski pod sprječava utjecaj podzemne vode, a na njega se nasipa sloj ojačanog betona. Zidovi doka su napravljeni nasipajući kamen u donji dio kesona, a nakon kamena idu slojevi zemlje. Ovaj dok najprije je građen kao usidreni dok, međutim na taj način nije dovoljno spuštена razina podzemne vode te je na kraju izgrađen kao betonsko-masivni tip.

5.2. Usidreni dokovi

Usidreni dokovi su dokovi kod kojih je hidrostatski tlak uravnotežen odgovarajućim sidrenjem. Uvjeti tla moraju biti takvi da osigura nosivost tereta na ploču poda i omogućiti razvoj naprezanja u stupovima te ugradnju sidara u tlo.



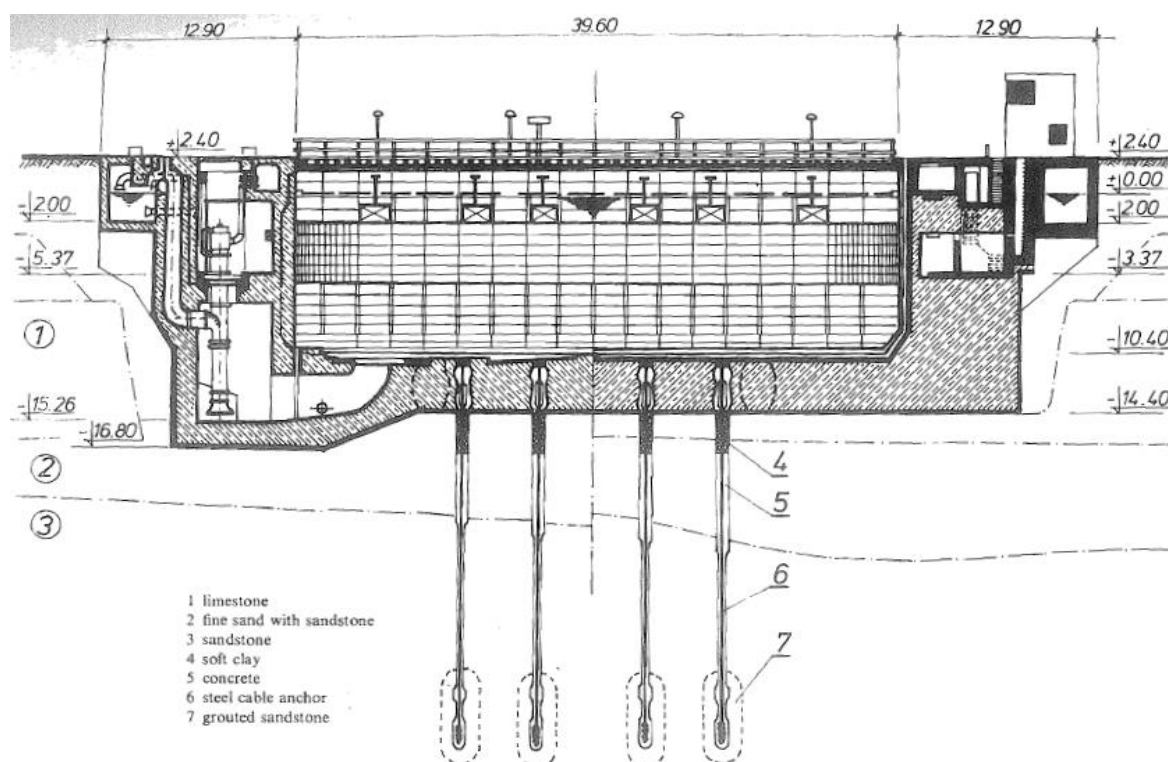
Slika 23. Sustav sidrenja doka s stupovima [4]

Usidreni dokovi se dijele na:

- dokove sa stupovima
- dokove s usidrenim pločama
- dokove s usidrenim tlom

Stupovi su prednapregnuti kada je dok prazan, a kada dođe do sabijanja znači da je brod u doku. Kako bi se izbjegli nedostaci masivnih konstrukcija, usidreni tip doka uvelike se oslanja na lagane ploče poda. Ovaj tip doka jeftinije je za graditi te se može izgraditi u kraćem vremenskom roku u odnosu na teški dok.

Projektantu se u proračunima preporuča pretpostaviti najveći mogući nivo podzemne vode i najnižu očekivanu gustoću betona na podu doka bez broda ili bilo kojeg drugog tereta. Hidrostatičko opterećenje kod usidrenih dokova uobičajeno se povećava sa faktorom 1,3 za projekte sustava sidrenja.



Slika 24. Presjek usidrenog suhog doka u Aleksandriji [8]

Ovaj primjer usidrenog doka se nalazi u Aleksandriji (Egipat) i ima sljedeće dimenzije:

- efektivna duljina $L_{u(\min)} = 251,35 \text{ m}$
- efektivna duljina $L_{u(\max)} = 259,85 \text{ m}$
- efektivna širina $S_u = 39,6 \text{ m}$
- dubina na ulazu $h_w = 10,8 \text{ m}$

Podna ploča ima debljinu koja se mijenja od 2,7 m na sredini ploče do 1,65 m na raskoraku. Ploča je usidrena sa 444 sidra čija je zadaća sprječavanje podizanja poda uslijed hidrostatskog tlaka. Raspoređeni su od 4,5 m do 5 m u poprečnom, a svaki 3,2 m u uzdužnom smjeru. Sekcija praga je usidrena sa samo 4 reda sidara.

Kod betonsko-masivnih i usidrenih dokova posebna se pozornost poklanja osiguranju prikladne granice sigurnosti protiv podizanja. Preporuča se faktor sigurnosti od 1,1 koji označava omjer težine doka i sile podizanja. Projektant prilikom proračuna mora uzeti u obzir najveću razinu podzemne vode i najmanju gustoću betona bez ikakvog dodatnog opterećenja. Usidreni dokovi su obično hidrostatski opterećeni sa faktorom 1,3 zbog projekta sidrenog sustava.

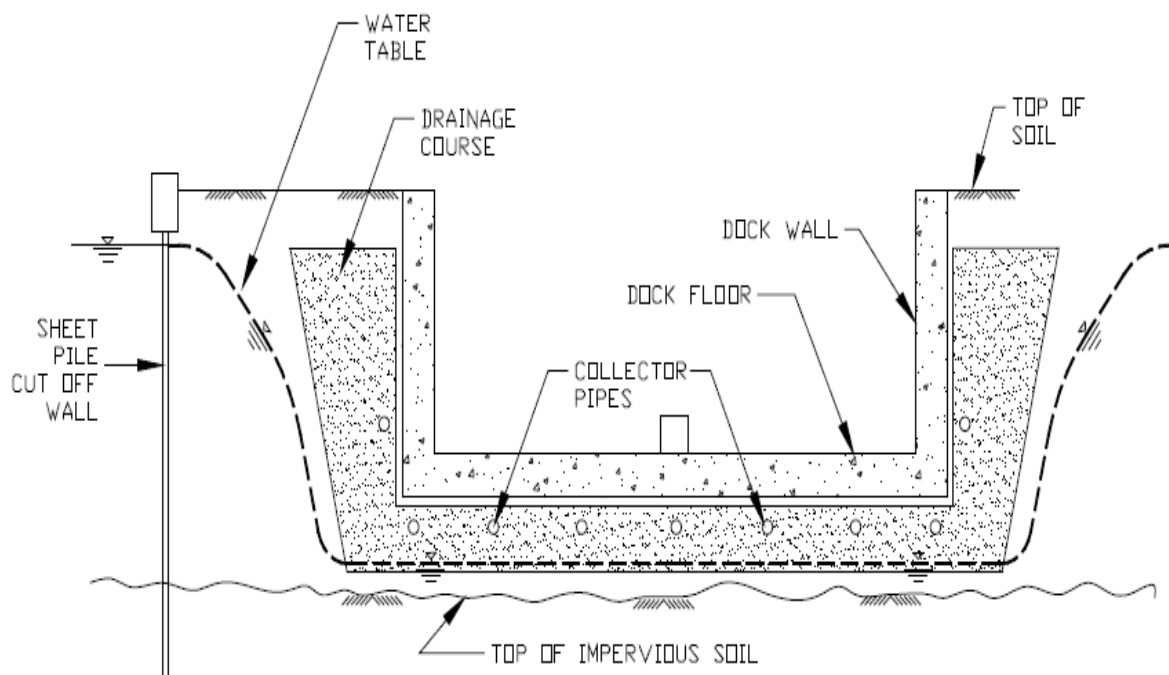
5.3. Drenažni dokovi

Postoje dvije kategorije drenažnih suhih dokova:

- potpuno oslobođeni tlaka podzemnih voda
- djelomično oslobođeni tlaka podzemnih voda

Suhi dokovi koji su potpuno oslobođeni tlaka podzemne vode trebaju imati takav drenažni sustav koji bi uklonio vodu oko cijelog doka i kao takav spriječio utjecaj hidrostatskog tlaka na zidove i pod. Upravo zbog toga važno je poznavati točne podatke o kontinuitetu nepropusnog sloja i njegovu točnu dubinu te horizontalne i vertikalne koeficijente propusnosti.

Smanjujući utjecaj tlaka na zidove i pod, omogućuje se gradnja lakše strukture što automatski rezultira nižom cijenom izgradnje. Početne uštede akumuliraju se kasnije u daljnjim troškovima poslovanja i održavanja sustava pumpi tijekom životnog vijeka doka.



Slika 25. Poprečni presjek doka koji je potpuno oslobođen od utjecaja hidrostatskog tlaka podzemne vode [4]

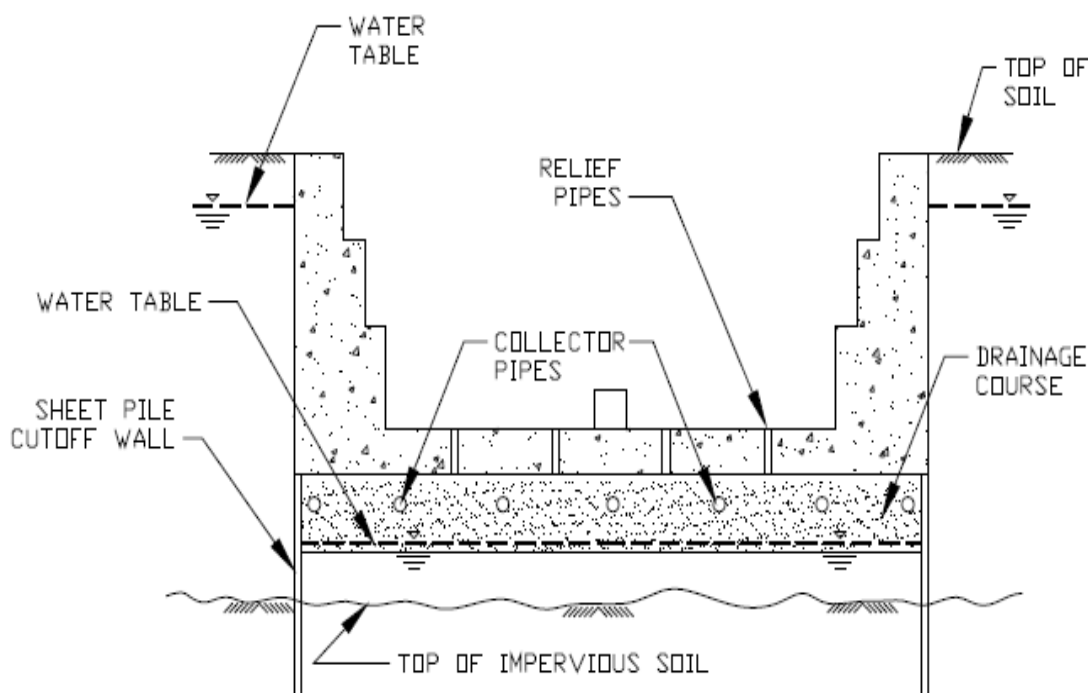
Trošak operativnog djelovanja sustava pumpi izravna je funkcija brzine prodiranja vode u dok. Prodiranje veće količine vode zahtjeva češći rad pumpi da bi se ta količina vode mogla ispumpati, što opet povećava operativne troškove pumpi. Minimalno prodiranje vode se sprječava:

- korištenjem otporne barijere tla oko suhog doka
- postavljajući granični zid na dubinu koja doseže nepropustan sloj tla, smještajući ga na odgovarajućoj udaljenosti od zida suhog doka kako bi hidraulički tlak postupno padao

Za uklanjanje vode koja dospije ispod i oko doka služi drenažni sustav koji je postavljen ispod poda i na zidovima. Njega čini sustav cijevi i ventila koji su povezani s pumpnom stanicom. Za veće količine vode koje dospiju, drenažni sustav mora biti opremljen sustavom cijevi koje odvođe tu vodu u crpnu komoru za odlaganje.

Budući da je moguće prodiranje i kroz stijene, samim time i dokovi koji su izgrađeni sa betonskim oblogama trebaju imati odvodne rupe za smanjenje tlaka.

Kod suhih dokova koji su djelomično oslobođeni od djelovanja tlaka podzemne vode na pod doka djeluje značajno reducirani hidrostatički tlak, dok su zidovi doka i dalje pod njegovim djelovanjem. Granični zid je obično postavljen na rubu ploče poda za smanjeno curenje. Drenažni sustav je postavljen ispod podne ploče kao i kod potpuno oslobođenog doka, a njega kontrolira lim graničnog zida koji se nalazi ispod zidova i proteže se do nepropusnog sloja tla.



Slika 26. Poprečni presjek doka koji je djelomično oslobođen hidrostatičkog tlaka [4]

Ukoliko se očekuju veće količine vode mogu se koristiti cijevi za prikupljanje vode i odvod do crpne komore. Neki dokovi dopuštaju curenje vode kroz rupice u podu i na taj način se voda skuplja u korita i ide dalje do crpne komore.

Ukoliko dopušteni tlak na tlo nije primjeren mogu se koristiti i stupovi za potporu. Također se mogu koristiti i kao sidreni stupovi za otpor hidrostatičkom podizanju (ako je to potrebno).

Preporuča se korištenje piezometara i kod dokova koji su djelomično i potpuno oslobođenih utjecaja tlaka u svrhu kontrole tlaka.

Ovisno o uvjetima tla, snižavanje razine podzemnih voda postiže se pjesčanim odvodima ili dubokim bušotinama, a moguća je kombinacija oba pristupa odjednom. Primjena ovisi o količini vode koja mora biti isušena.

6. POD I ZIDOVI DOKA

6.1. Pod doka

Prije pojave armiranog betona, podovi za dokove gradili su se od cigle i kamena kako bi se postigla zadovoljavajuća čvrstoća strukture. Danas se podovi suhog doka uglavnom grade od armiranog i ojačanog betona. Svojim svojstvima moraju omogućiti zaštitu od utjecaja promjene temperature, vlage i vode uz odgovarajuće građevinske propise. Kvaliteta betona ovisi o svojstvima sastojaka koji ulaze u sastav betona, njihovog omjera u mješavini betonske mase, načina izrade i transporta te načina ugrađivanja.

Podovi doka se mogu graditi u vodoravnom položaju ili s određenim nagibom. Nagib poda doka kreće se oko 1:300 i može se graditi uzdužno prema ulazu u dok ili od centralne linije doka prema bočnim zidovima. Ovaj način gradnje pospješuje uklanjanje vode iz doka.

Kod dokova s vodoravnim položajem, bolja drenaža postiže se kanalima za uklanjanje vode ili zdencima koji su uvučeni unutar ploče. Poprečni odvodni kanali orijentirani su okomito na os bazena doka usmjeravajući protok vode prema bokovima gdje su kanali postavljeni uzdužno, a zatim voda otječe u jame ili odvodne kanale.

Podna ploča projektira se za:

- koncentrirano opterećenje broda koje ovisi o tipu doku
- hidrostatički tlak s donje strane poda.

Dva glavna načina podupiranja opterećenja poda su:

- direktno djelovanje na tlo
- djelovanje trenja na stupove

Direktno djelovanje na tlo zahtjeva ploču koja ima dovoljnu čvrstoću da rasporedi ukupni teret na tlo, a to tlo mora imati nosivost koja neće izazvati pretjerane deformacije. Analiza za ovaj tip opterećena slična je gredi koja se nalazi na kontinuiranoj elastičnoj podlozi.

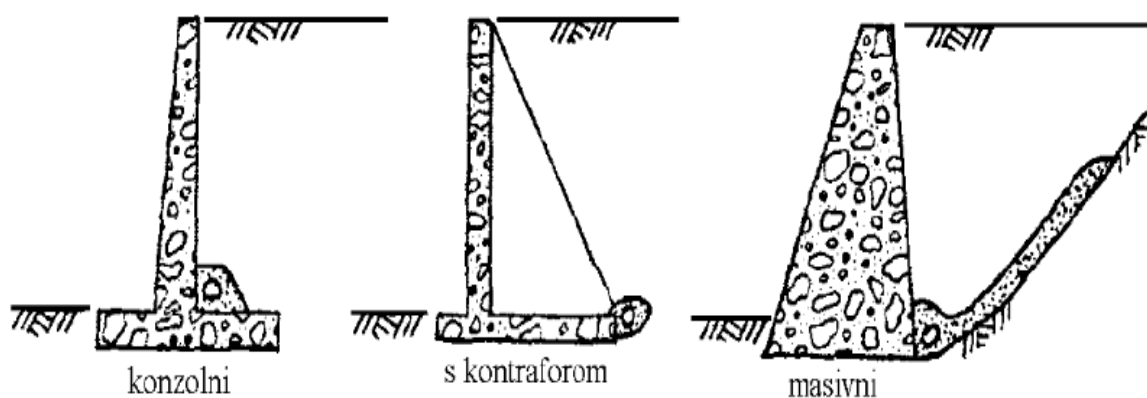
Budući da je temperatura ploče praktički konstantna jer je u kontaktu s podzemnom vodom, dilatacija je mala.

6.2. Zidovi doka

Zid je nosivi element koje prenosi opterećenje u svojoj ravnini. Zidovi na sebe preuzimaju vertikalna i horizontalna djelovanja, te se u njima javlja ravninsko stanje naprezanja. Moraju zadovoljiti uvjete stabilnosti i zaštite od utjecaja promjene temperature, vlage, trajnost i ekonomičnost.

Većina današnjih suhih dokova imaju vertikalne zidove koji su opterećeni na savijanje i za njih vrijede pravila kao i za konstrukcijske elemente koji su opterećeni na savijanje. Bočni zidovi su projektirani za utjecaje različitih opterećenja koja uključuju tlak zemlje, tlak podzemnih voda, tlakove unutar samog doka te opterećenja koja uključuju opremu, dizalice i dr. Moraju biti projektirani i za prijenos hidrostatskog opterećenja koje se prenosi kroz pod doka u zemlju. U većini izgrađenih dokova razmatraju se i opterećenja izazvana potresom.

Konstrukcija zida najčešće uključuje beton, armirani beton, profile i rupe za temelje. Ranih godina dvadesetog stoljeća korištene su velike količina betona (uz zadovoljavajuću ekonomičnost), međutim u suvremenoj gradnji to više nije slučaj. Velik broj dokova koji su izgrađeni u zadnjih 40 do 50 god. izgrađeni su od armiranog betona.



Slika 27. Tri osnovne kategorije zida [18]

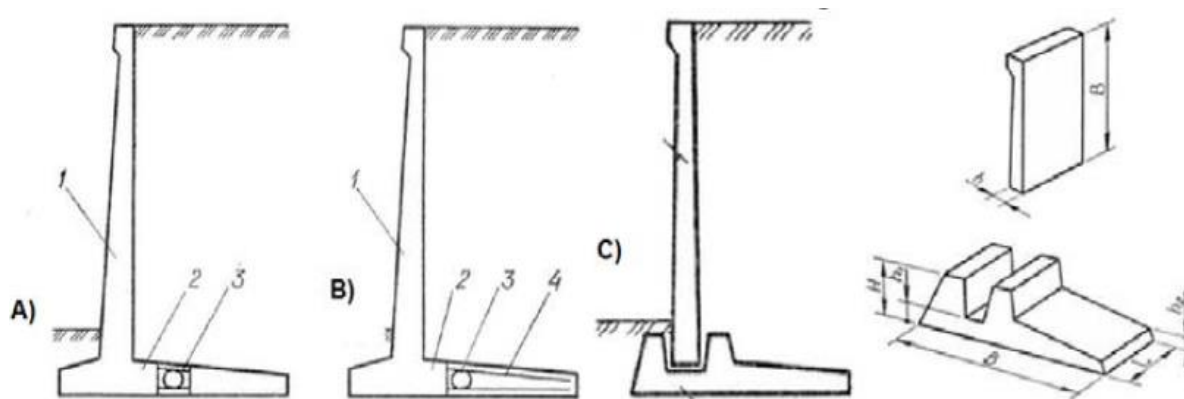
Armirano-betonski potporni zidovi dijele se u tri osnovne kategorije:

- konzolni armirano-betonski zidovi
- konzolni armirano-betonski zidovi s kontraforom
- masivni armirano-betonski zidovi

Kod korištenja profila pri izgradnji preporuča se bolje oblaganje zbog utjecaja korozije. Posebna razmatranja su potrebna ako zidovi nose vertikalna opterećenja od dizalica i građevinskih stupova, a važna je i vodonepropusna folija koja je instalirana na zglobovima.

6.2.1. Konzolni potporni zidovi

Konzolni potporni zidovi sastoje se od prizmatičnih montažnih elemenata koji čine čitav presjek potpornog zida i duljine su oko 12 m. Horizontalna armatura služi im za sprječavanje nastanka pukotina jer temelj ne dozvoljava deformiranje zida na spoju s temeljem. Kod elemenata velike debljine, horizontalnom armaturom onemogućava se nastanak pukotina uslijed hlađenja mladog betona.



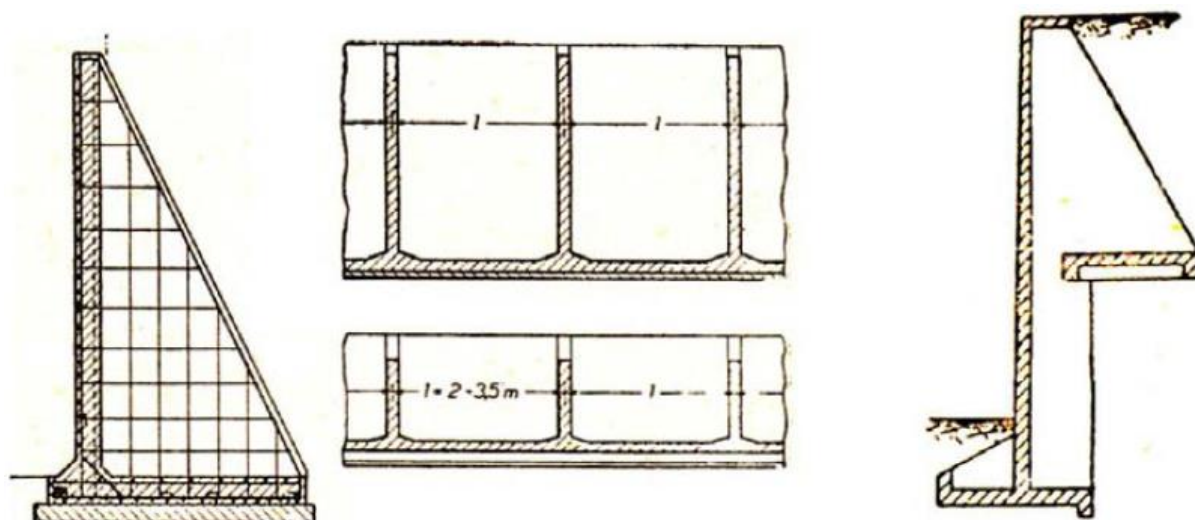
Slika 28. Izvedba konzolnih potpornih zidova [18]

Kod prvog slučaja, zid se sastoji od dva predgotovljena dijela s armaturom u obliku kuke koja viri iz oba dijela te se betonira spoj na licu mjesta umetanjem uzdužne armature kroz petlju. Kod drugog slučaja nalazi se predgotovljeni zid gdje se dio temelja izvodi na licu mjesta, a u trećem slučaju zid čini predgotovljeni temelj sa utorom u koji se umeće panel zida.

6.2.2. Konzolni potporni zidovi s kontraforom

Konzolnim zidovima s kontraforom smanjuju se dimenzije, količina potrebne armature, naprezanja i deformacije u betonu potpornog zida. Dodavanjem kontrafore povećava se učinkovitost visokih konzolnih potpornih zidova. Zidovi s kontraforama sastoje se od temeljne ploče i zidova koji se oslanjaju na kontrafore.

Rebra za ojačanje debljine 50 do 70 cm postavljaju se na razmaku 3 do 5 m. Razmak kontrafori iznosi 0,5 do 0,75 ukupne visine potpornog zida, a njihova debljina iznosi minimalno 25 cm. Moguća je i izvedba ploče za relaksaciju na određenoj visini.



Slika 29. Izvedba konzolno potpornih zidova s kontraforom [18]

Najveća horizontalna armatura nalazi se između kontrafora uz vanjsku plohu zida i uz kontrafore na unutarnjoj plohi zida, a najveća vertikalna armatura u zidu nalazi se na spoju zida sa temeljom.

U gornjem dijelu zida, sile se prenose u horizontalnom smjeru između kontrafora i zid se u tome predjelu savija kao ploča, dok se donji dio zida se savija u vertikalnom smjeru. Maksimalni moment savijanja u vertikalnom smjeru se pojavljuje u sredini zida između kontrafora.

7. SUSTAV ZA NAPLAVLJIVANJE I ISUŠIVANJE

Osnovna stanja u kojima se suhi dok može nalaziti je prazan ili ispunjen vodom. Kad je ispunjen vodom vrši se prihvatanje broda u dok ili porinuće broda. Ukoliko je dok prazan, u njemu se gradi, izvode se različiti popravci broda i održavanje strukture doka.

Vrijeme naplavljivanja i isušivanja suhog doka vrlo je važan faktor koji ovisi o tipu doka tj. da li je on građevni ili remontni. Kod građevnog tipa, vrijeme naplavljivanja i isušivanja je dugotrajnije zbog procesa gradnje broda. Također, građevni se dokovi mogu koristiti kao i remontni, ali je poželjno kraće vrijeme naplavljivanja i isušivanja. Remontni tip zahtijeva puno brže vrijeme naplavljivanja i isušivanja zbog samog procesa prihvatanja broda i predaje natrag u vodu.

Vrijeme trajanja ova dva procesa ovisi o veličini i tipu suhog doka. Naplavljivanje traje u prosjeku oko 1 sat i puno je kraće od isušivanje koje u nekim slučajevima može potrajati i do 12 sati.

Tablica 3. Vrijeme naplavljivanja i isušivanja u suhim dokovima [8]

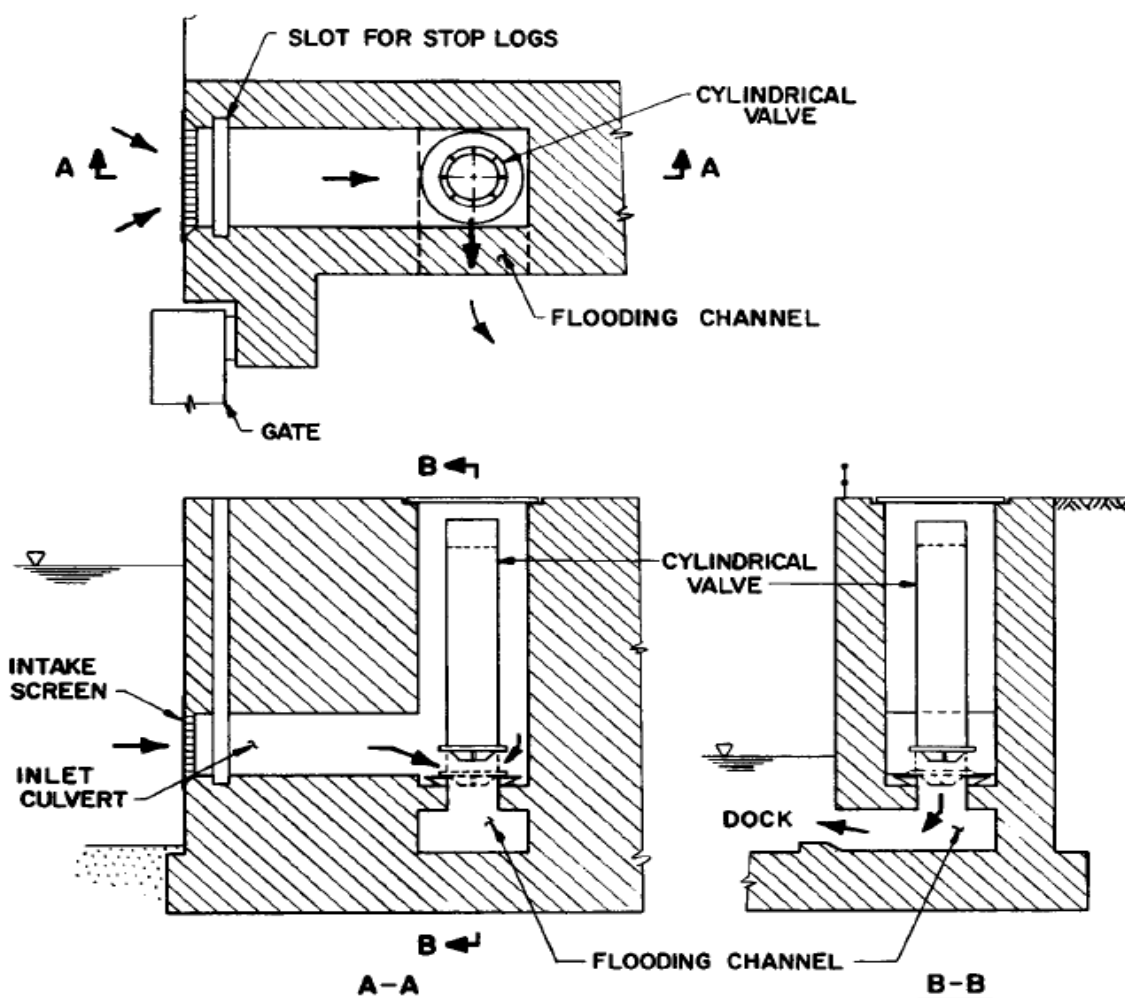
Luka	Tip suhog doka R- remontni G- građevni	Dimenzije suhog doka (L x B x D)	Približan volumen suhog doka (m^3)	Vrijeme naplavljivanja (h)	Vrijeme isušivanja (h)
Alexandria, Egipat	R	251 x 42 x 10,8	113 850	1	3
Antverp, Belgija	R	270 x 41,5 x 9	100 850	1	2,5
Belfast, Sjeverna Irska	G	556 x 93 x 8,4	434 350	7	12
Bordeaux, Francuska	R	240 x 34 x 13,4	109 340	1	3,75
Copenhagen, Danska	G,R	218 x 31 x 7,5	50 690	0,75	1,75
Emden, Njemačka	G,R	218 x 32 x 8,2	57 200	1	2
Falmouth, Engleska	R	260 x 41,5 x 11	118 700	1	3
Fredrikshavn, Danska	R	170,6 x 27,2 x 5,5	25 520	1,5	1,5
Gdynia, Poljska	G	240 x 42,5 x 8	81 600	1,5	4
Gdynia, Poljska	G	380 x 70 x 8	212 800	3	8
Greenlock, Škotska	R	305 x 46,5 x 12,5	181 090	1,5	2,5
Hamburg, Njemačka	R	336 x 56 x 9,2	173 110	2,5	8
Helsinborg, Danska	G	146 x 21,9 x 7	22 380	1,5	2,5
Karachi, Poljska	G	191 x 27,4 x 9	47 100	1,5	2,5
Kristiansand, Norveška	R	210 x 30,5 x 9	57 650	1,5	2,75
Kristiansand, Norveška	R	137 x 20,4 x 6,3	17 610	2	2
Launceston, Austalija	R	58 x 12 x 3,8	2 640	2	4,5
Lisabon, Portugal	R	268 x 42 x 11	123 820	1	2,25
Lisabon, Portugal	R	350 x 54 x 11	207 900	0,75	3
Lisabon, Portugal	R	187 x 22 x 9,9	40 730	1,5	3
Marseilles, Francuska	R	465 x 85 x 11,8	466 400	2	3,25
Nakskov, Danska	G	176 x 27 x 8	38 020	2	2
North Shields, Engleska	R	213 x 29 x 8,2	50 650	1,5	2,5
Schiedam, Nizozemska	G , R	370 x 47,3 x 10,2	178 510	1	2
South Shields. Engleska	R	218 x 31 x 7,6	51 360	1,5	3,5

Posebna oprema za ovaj proces ugrađena je u zgradu ili komoru koja se naziva pumpna stanica. Različitost opreme ovisi o sustavu naplavljivanja i isušivanja koji se koriste unutar doka.

Sustav naplavljivanja se uobičajeno sastoji od ulaznog usisa, naplavnog ventila i naplavnog kanala [Slika 30], dok sustav isušivanja ima usis, usisnu komoru, usisnu cijev, pumpe, cijev za pražnjenje i ispušni izlaz [Slika 31].

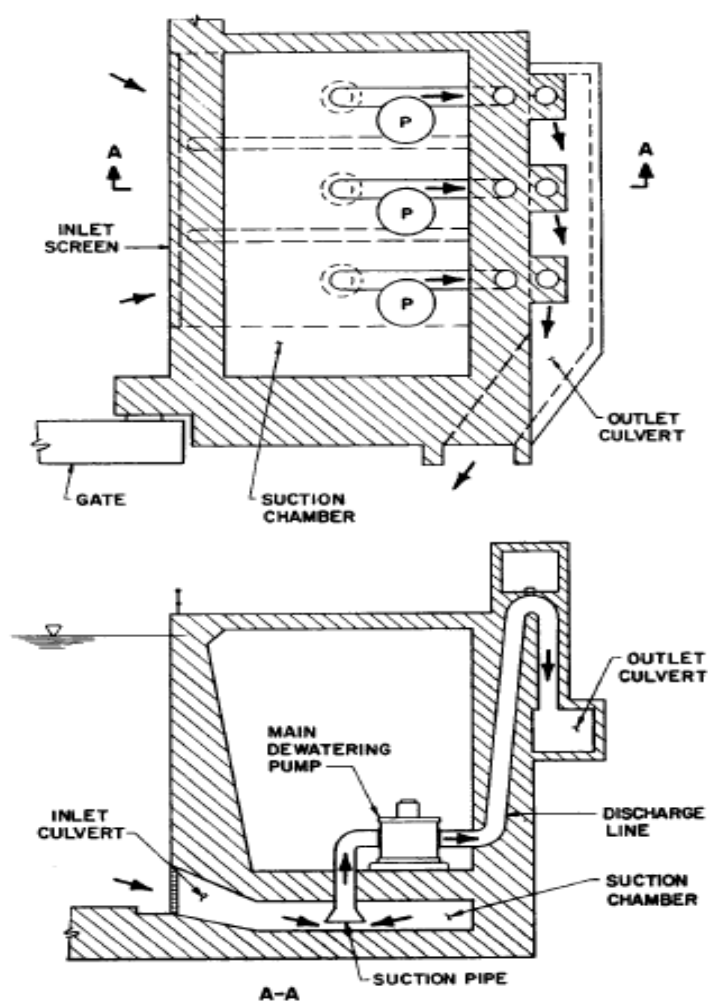
Pumpne stanice su obično smještene blizu ulaza doka budući da se pod doka gradi pod nagibom. Najbolja pozicija za pumpnu stanicu je u zidu doka jer nije potrebno graditi neku posebnu strukturu za nju.

Ova lokacija smanjuje cijenu izgradnje, reducira dužinu usisnih i ispušnih odvoda kao i naplavnog kanala. Moguće je i slučaj s dvije pumpne stanice koje su smještene na svakoj strani ulaza.



Slika 30. Sustav naplavlivanja [6]

Postoje i projekti gdje je sustav naplavlivanja smješten u jednom zidu, a sustav isušivanja u drugom. U zadnje vrijeme naplavni ventili smještaju se u strukturu vrata doka. Ovaj sustav ima mnoge prednosti, a jedna od glavnih je mogućnost inspekcije naplavnog ventila prilikom popravka ili vršenja inspekcije nad vratima. Ventile je potrebno smjestiti što je niže moguće, odmah iznad praga, kako bi se osiguralo jednostavno punjenje doka vodom.



Slika 31. Sustav isušivanja [6]

Kod suhих dokova s dva ulaza i s unutrašnjim vratima, pumpna stanica se postavlja blizu unutrašnjih vrata za opsluživanje odvojenih dijelova doka. Naplavlјivanje u ovom slučaju je efikasnije kroz ventile koji su smješteni u vratima.

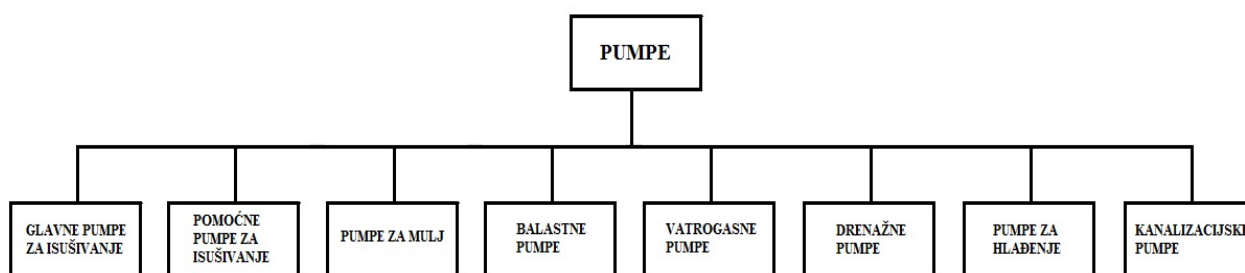
Za dok s unutrašnjim vratima najvažniji problem je isumpavanje kišnice i balasta odijeljenog doka pa se to rješava s odvojenom "rain-water" pumpnom stanicom koja se nalazi na sredini suhog doka. Ova pumpa omogućuje odvojeno isušivanje svakog dijela doka.

Pumpna stanica također može biti udaljena od suhog doka, ali u tom slučaju ona opslužuje nekoliko suhих dokova koji su smješteni jedan kraj drugog.

7.1. Pumpe

Građevni i remontni dokovi opremljeni su sljedećim pumpama:

- glavne pumpe za isušivanje doka
- pomoćne pumpe za isušivanje kišnice, balastne vode, vode za testiranje vodonepropusnosti
- pumpe za mulj
- balastne pumpe
- vatrogasne pumpe
- drenažne pumpe
- pumpe za hlađenje
- kanalizacijske pumpe



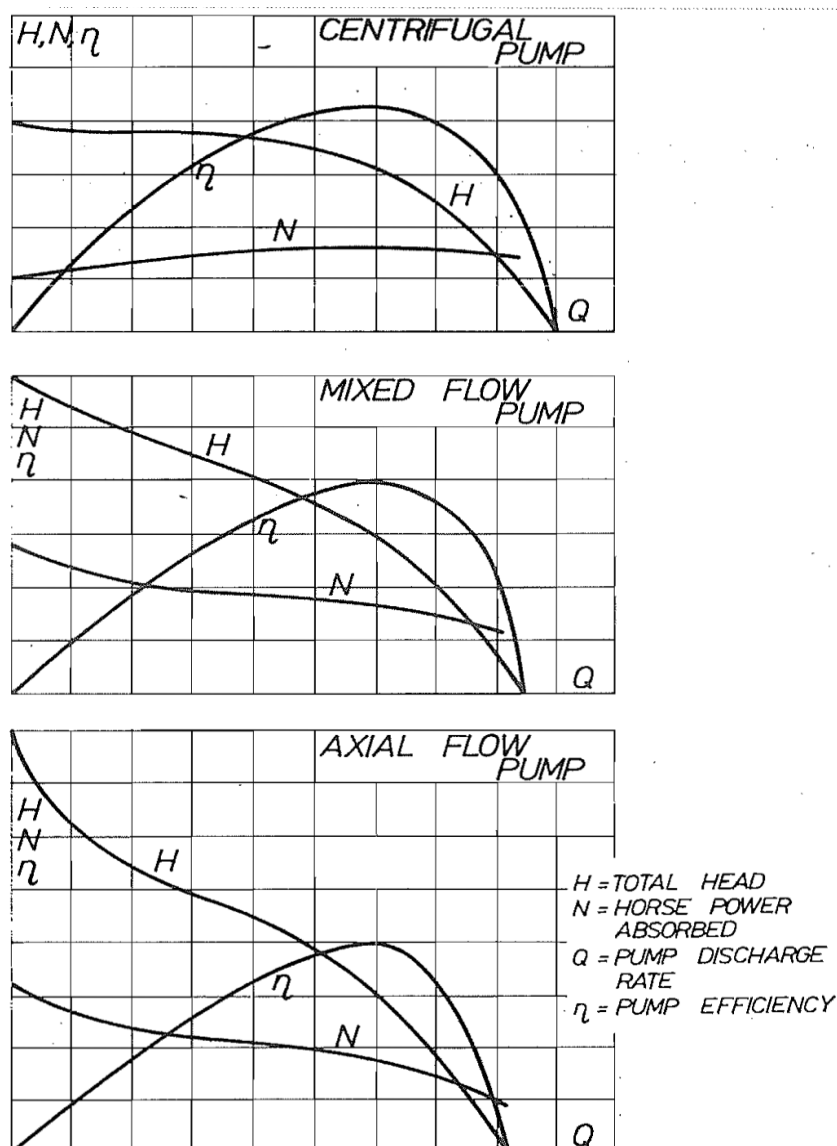
Slika 32. Podjela pumpi koje su obavezne u svakom suhom doku

Mogu se podijeliti još i prema tipu motora:

- pumpe pogonjene klipnim parnim strojem
- pumpe pogonjene dizel motorima
- pumpe pogonjene električnim motorima

Kod modernih dokova koriste se tri tipa pumpi, a to su:

- centrifugalne pumpe s horizontalnom ili vertikalnom osovinom
- pumpe mješovitog protoka s vertikalnom osi
- aksijalne pumpe



Slika 33. Radne karakteristike pumpi [8]

Izbor odgovarajuće pumpe ovisi o parametrima pumpe koji najviše odgovaraju općem planu pumpne stanice. Pumpe mješovitog protoka, aksijalne pumpe i propelerne pumpe daju puno bolja svojstva za pumpnu stanicu.

Broj glavnih pumpi ovisi o pretpostavljenom vremenu koje je potrebno za isušivanje doka i efikasnosti jedne pumpe koja je povećana s još jednom ili dvije pumpe u pripravnosti. Moguće je koristiti pomoćne pumpe za konačno isušivanje doka, a preporuča se upotreba glavne pumpe za snižavanje razine vode u glavnoj usisnoj komori na oko 1 m ispod praga doka.

Glavne pumpe moraju moći isušiti najveće i najdublje dokove i njihov kapacitet se kreće do $50\,000\text{ m}^3/\text{h}$.

Pomoćne pumpe za isušivanje mogu se pokretati ručno ili automatski, ovisno o razini vode u usisnoj komori. Najčešće su istog tipa kao i glavne pumpe, samo s manjim kapacitetom. Njihov broj i kapacitet ovisi o količini vode. Prema pravilu postavljaju se jedna do tri pumpe, od toga jedna ili dvije koje rade, a treća je u pripravnosti.

Balastne pumpe su centrifugalne pumpe s horizontalnom osovinom kapaciteta oko $1000 - 2000\text{ m}^3/\text{h}$ te crpe vodu direktno iz luke ili rijeke.

Vatrogasne pumpe su također centrifugalne s okomitom ili horizontalnom osi i velikom brzinom rotacije. Njihov kapacitet se kreće od $100 - 300\text{ m}^3/\text{h}$. Pumpe za mulj su brzorotirajuće centrifugalne pumpe s horizontalnom osi kapaciteta $5 - 10\text{ m}^3/\text{h}$ i uobičajeno je jedna pumpa instalirana u pumpnu stanicu. Ostale pumpe kao što su pumpe za hlađenje, drenažne pumpe i kanalizacijske su konstrukcijski vrlo slične prethodno navedenim pumpama.

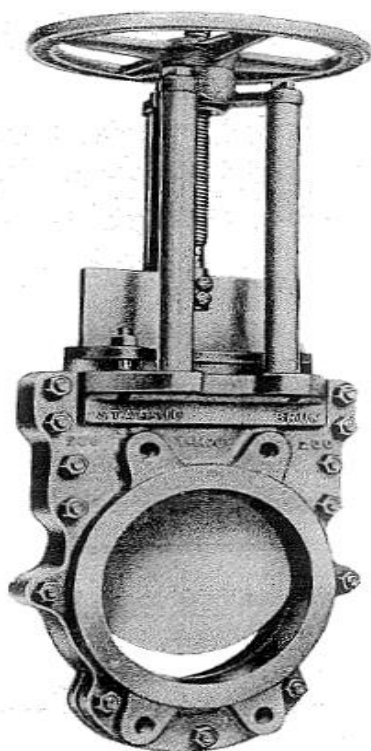
7.2. Ventili

U sustavu naplavlivanja postoje tri tipa naplavnih ventila koji su u upotrebi:

- zaporni ventil smješten u naplavni odvodni kanal
- cilindrični ventil smješten u okno ispunjeno vodom i postavljen između usisnog i naplavnog odvodnog kanala
- odvojeni zaporni ventili smješten na vratima doka

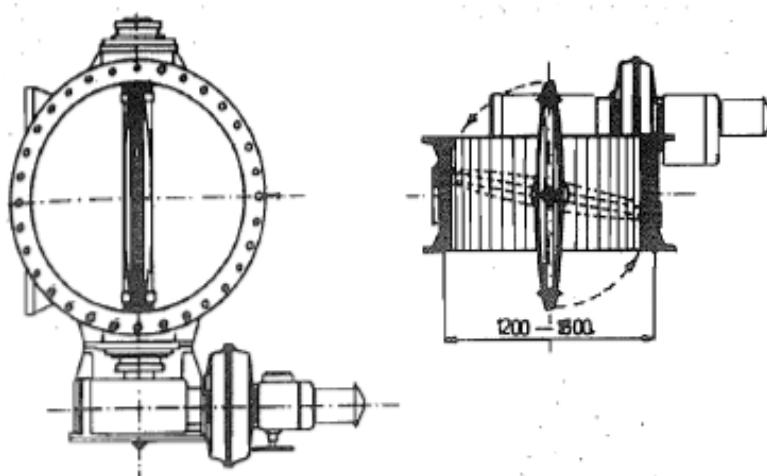
Oblik ventila ovisit će o obliku odvoda koji može biti jajast, kružnog oblika, kvadratan i pravokutan. Zaporni ventili mogu imati različite oblike, ali su najčešći kružnog oblika.

Kod naplavnih odvodnih kanala kojima je promjer manji od jednog metra, ventili se prave od lijevanog željeza ili od nehrđajućeg čelika i mogu se otvarati ručno, hidraulički ili električki.



Slika 34. Prikaz ventila koji se pokreće ručno [8]

Kod modernih suhих dokova sve više se koriste leptir ventili koje se postavljaju u vrata doka s kanalima za naplavljivanje i isušivanje. Uz njih se koriste i cilindrični ventili koji imaju visinu od 3 – 10 m i promjer 1,5 – 2 m. Upravljaču se pomoću električnog motora, a u slučaju pada sustava moguće je i ručno upravljanje.



Slika 35. Izgled leptir ventila [8]

Kod isušivanja su postavljeni i ventili za zatvaranje isisnih ili otpusnih kanala kako bi se moglo izvršiti nadgledanje i popravak pumpe bez ikakvog utjecaja na rad drugih pumpi u pumpnoj stanici.

Ventili koji se koriste na cjevovodima ili odvodnim kanalima ne koriste se samo za zatvaranje kanala nego i efikasnu regulaciju ventila kada se koriste centrifugalne ili specijalne aksijalno-protočne pumpe.

7.3. Pumpna stanica

Konstrukcija pumpne stanice ovisi o lokalnim uvjetima u kojim se nalazi suhi dok, lokaciji i mogućnosti glavnih pumpi te tipu glavnih pumpi. Postoje dva tipa stanice koje ovise o horizontalnoj ili vertikalnoj osovini pumpe.

Kod pumpnih stanica s horizontalnom osi, pumpe su postavljene na razinu poda doka zbog ograničene usisne visine koja je od 4 do 6 m. Smještaj glavnih pumpi i njihovih motora zahtjeva odgovarajuće mjesto u pumpnoj stanici što stvara poteškoće kod smještaja pumpne stanice na ulazu suhog doka.

Kod pumpnih stanica s vertikalnom osi, pogonski motori imaju zajedničku vertikalnu osovину s pumpom i smještena je iznad pumpe, što rezultira smanjenjem potrebnog poprečnog presjeka pumpne stanice.

Kod suhih dokova koji imaju velike dimenzije i odijeljeni su sa srednjim vratima, može se na sredini duljine doka postaviti posebna kišna ili pomoćna stanica koja omogućuje ispuštanje površinske vode iz dijelova doka koji su odvojeni srednjim vratima.

Za nadgledanje rada motora koji pokreću pumpe, ventila i odvoda služi kontrolni centar koji je smješten u pumpnoj stanici. Kontrolni centar mora imati indikatorski dijagram koji će shematski prikazivati u kakvom stanju je dok, odvodi, pumpe i ventili. Na indikatorskom panelu nalaze se svjetla u različitim bojama koja prikazuju rad sustava pumpi i ventila.

Indikatori moraju biti aktivirani preko diskretne jedinice tako da se svaka pogreška u sustavu između jedinice i kontrolnog centra može registrirati i otkloniti. U slučaju pada sustava, automatski se pali sigurnosni signal.

Kod modernih pumpnih stanica potrebne su sljedeće instalacije:

- električna energija i rasvjeta
- telefon, radio i razglas
- ventilacija i grijanje

Pumpne stanice su najvažniji objekti u cijelom sustavu suhog doka jer uz točnu konstrukciju zahtijevaju i posebne metode gradnje jer su najniža struktura u suhom doku i imaju velika pojedinačna opterećenja od pumpi, cjevovoda i ostale opreme koja je instalirana oko pumpi.

8. VRATA SUHOG DOKA

Vrata suhog doka osiguravaju neophodno razdvajanje između bazena i mora. Vrata se razlikuju dizajnom, konfiguracijom i načina rada. U načelu postoji 5 osnovnih tipova vrata suhog doka:

- plutajuća vrata
- vrata sa šarkom
- klizna vrata
- krilna vrata
- preklopna vrata

Vrsta, oblik i ukupna dimenzija pod utjecajem su raznih faktora:

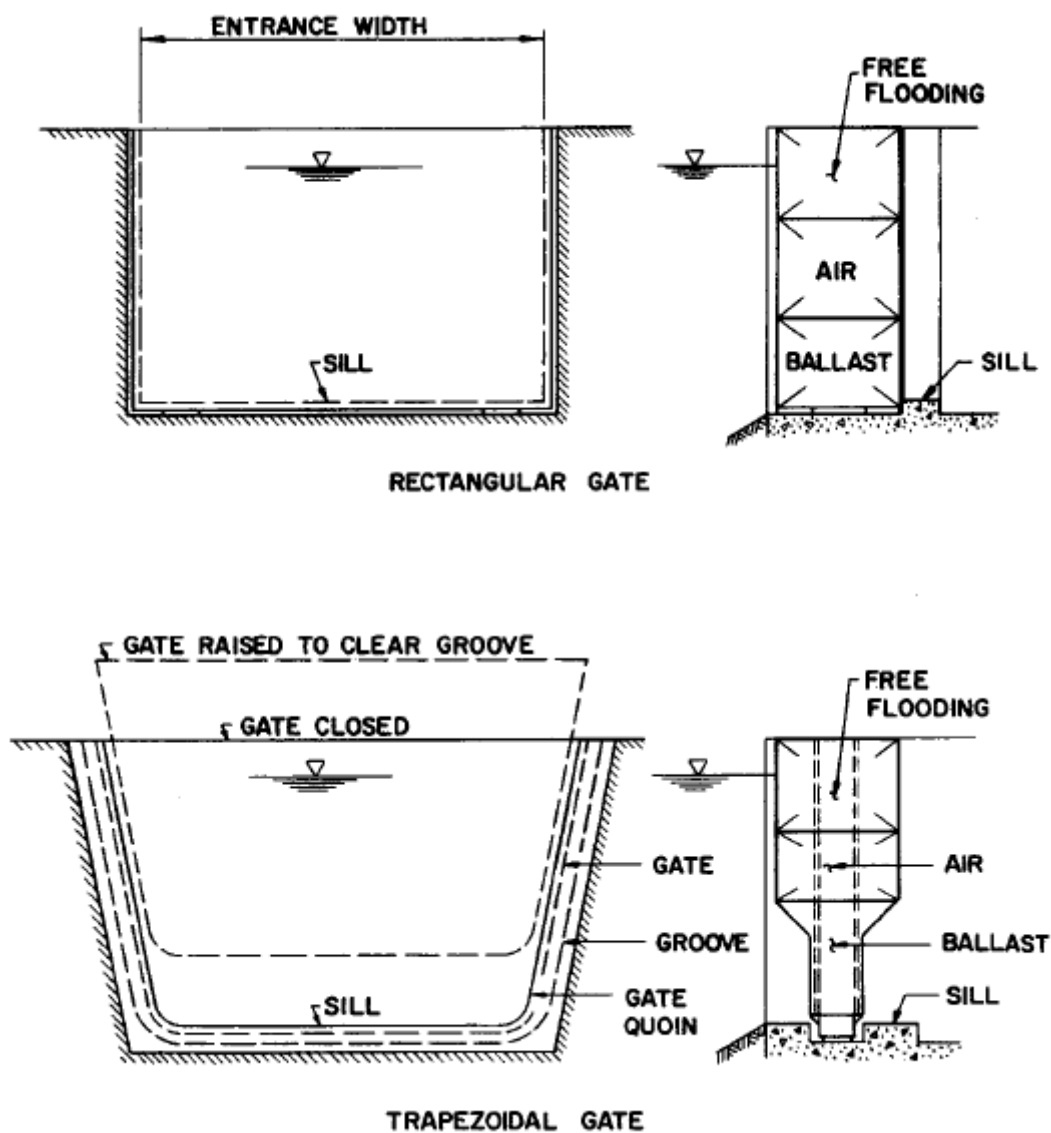
- širina ulaza
- dubina ulaza
- ista razina vode mora biti zadržana tijekom različitih faza rada
- plima, vjetar i valovi utječu na visinu vrata
- dostupnost prostora u korist vrata prema molu ili obalnom zidu
- troškova i jednostavnosti održavanja
- rada i mehanizma potrebnih za rad vrata
- izvoru energije potreban za rad vrata
- pristupu za pješake ili vozilo
- troškovi izgradnje, uključujući i pripadajuće građevinske radove
- za brzinu popravka vrata doka poželjno je 10 do 15 *min*

8.1. Plutajuća vrata

Plutajuća vrata najrašireniji su tip vrata koji se koristi. Izrađuju se od čelika, armiranog betona ili prednapregnutog betona. Vrata su potpuno neovisna o suhom doku. Mogu biti građena s dva lica zbog lakšeg održavanja, a mogu se graditi na drugoj lokaciji i dovući na mjesto gdje će biti upotrijebljena.

Njihovi glavni nedostaci su:

- dugo vrijeme operacije
- zahtijevaju veliku posadu za rad sa vitlom
- ručna linija za uklanjanje ili premještanje vrata



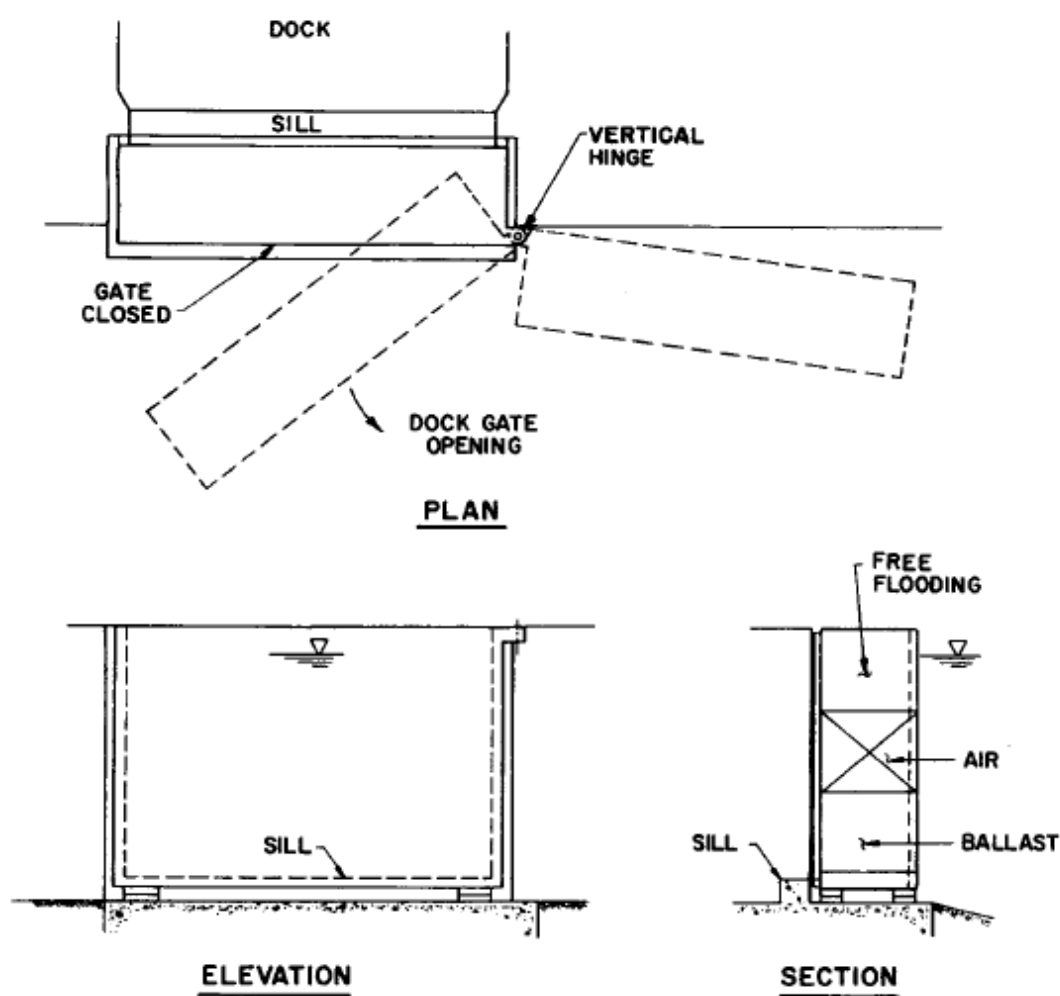
Slika 36. Obilježja plutajućih vrata [6]

Interno, vrata su podijeljena u vodonepropusne odjeljke za uzgon, stabilitet i kontrolu balasta. Sustav kontrole balasta sastoji se od pumpe i ventila koji su montirani na vratima. Stabilitet plutajućih vrata treba pažljivo izračunati kao i količinu promjene vodenog balasta te težište.

Za sprječavanje nestabilnosti, većina plutajućih vrata sadrži betonski balast koji se nalazi blizu dna.

8.2. Vrata sa šarkom

Ovaj tip vrata modificirani je tip plutajućih vrata, napravljen s vertikalnom šarkom na jednoj strani. Hidrostatički principi su jednaki kao i kod plutajućih vrata. Vrata se otvaraju s užadima i vitlima. Imaju slične nedostatke kao i plutajuća vrata. Za održavanje vrata, potrebno ih je skinuti sa zgloba i premjestiti ih na mjesto popravka.

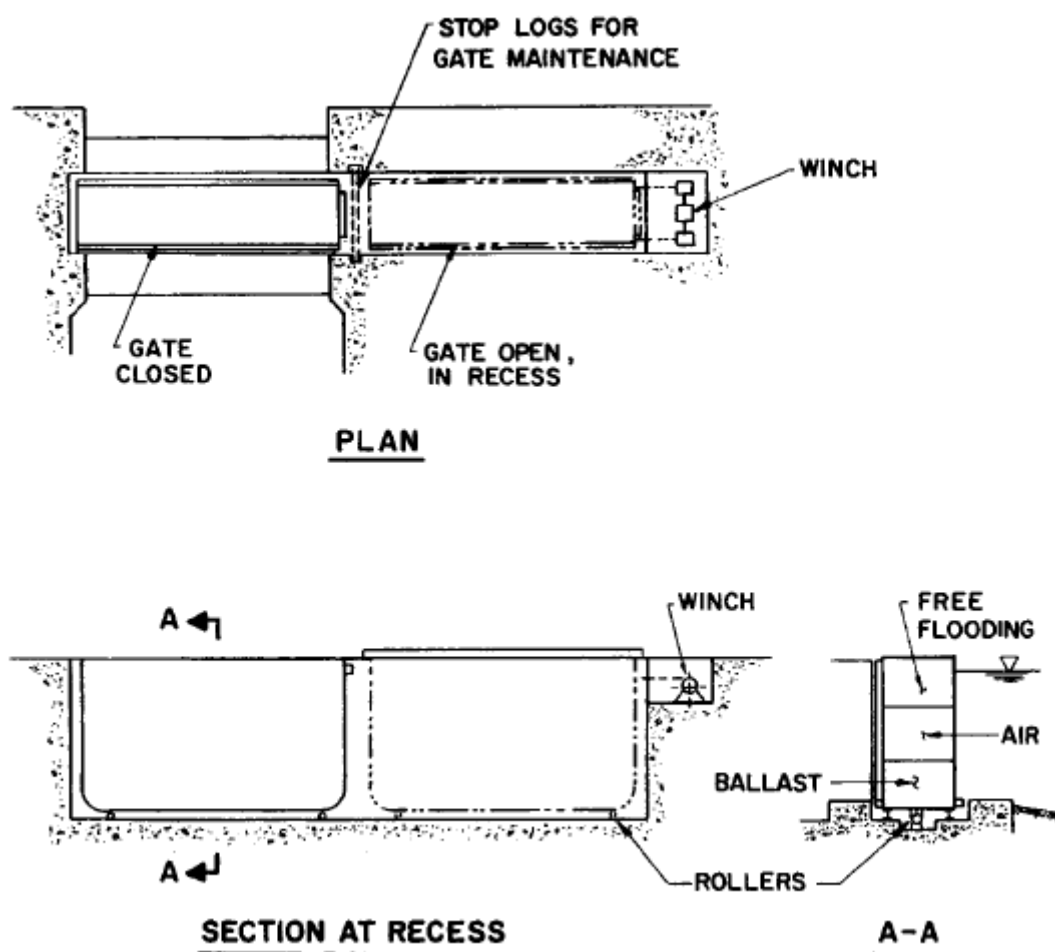


Slika 37. Izgled i funkcioniranje vrata sa šarkom [6]

8.3. Klizna vrata

Klizna vrata su obični plutajući pontoni ili kesoni izrađeni od čelika ili betona. Kada je dok otvoren prema moru, klizna se vrata pomaknu poprečno u poseban džep ili udubljenje ugrađeno u boku пристаништа. Po konstrukcijskoj izvedbi su slični plutajućim vratima. Njima je lako manevrirati i zahtijevaju malu posadu te su namijenjene za brzo otvaranje i zatvaranje.

Glavni nedostatak im je potreba za posebnom komorom koja je ugrađena u boku što pridonosi većem trošku izgradnje. Uobičajena konfiguracija vrata za ovaj tip je pravokutnog oblika dok neke mogu biti u obliku luka. Raspon između visine i širine se kreće 1 : 4,5 do 1 : 6,5 kako bi se omogućilo prometovanje na vrhu vrata.

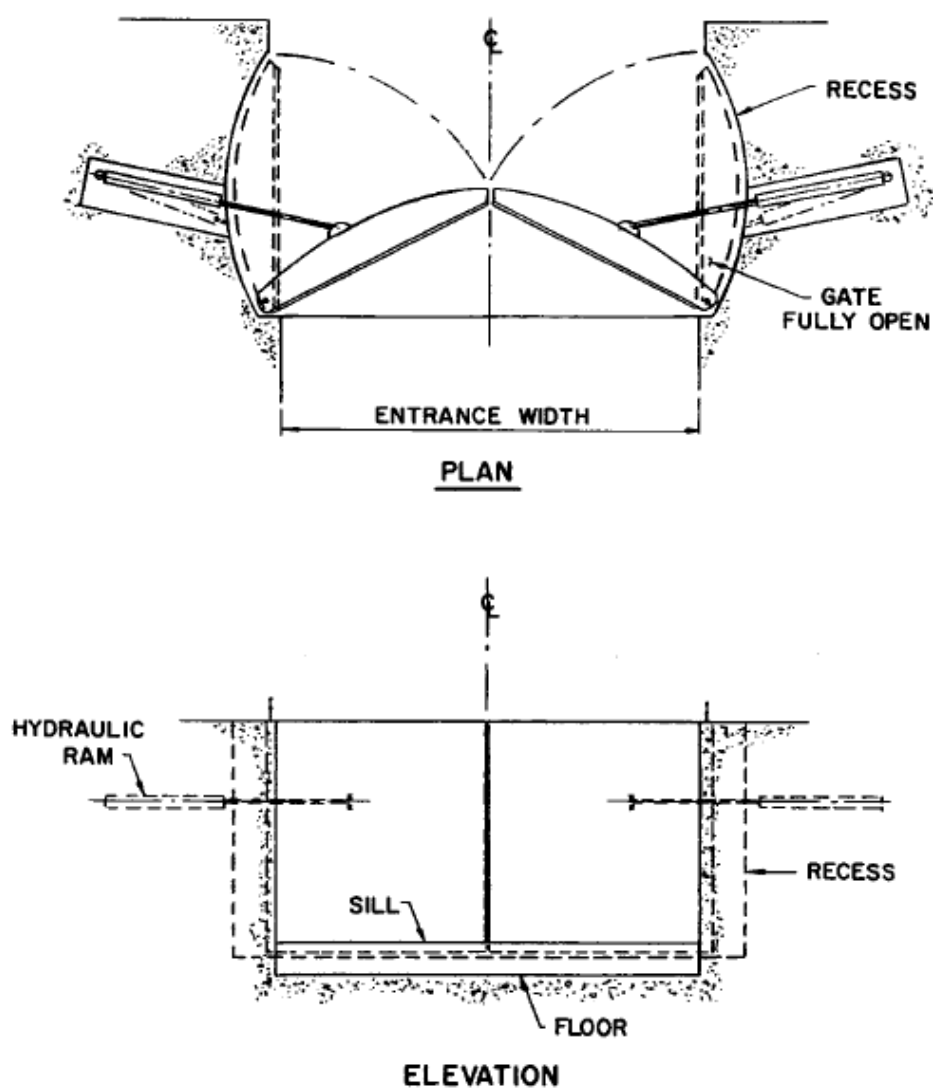


Slika 38. Princip rada kliznih vrata [6]

Vrata klize na sustavu kotača ili valjaka na tračnicama, a mogu klizati i po glatkoj površini. Žičani kablovi koji su povezani sa električnim i hidrauličnim vitlima uobičajeno se koriste za pomicanje vrata.

8.4. Krilna vrata

Ovaj tip vrata podijeljen je na sredini i čine ga dva krila, pri čemu se svako krilo okreće oko vertikalnog zgloba na boku zida. Vertikalna os poduprta je s gornjim i donjim ležajem, a cijeli zglobov uvučen je u zid bazena.

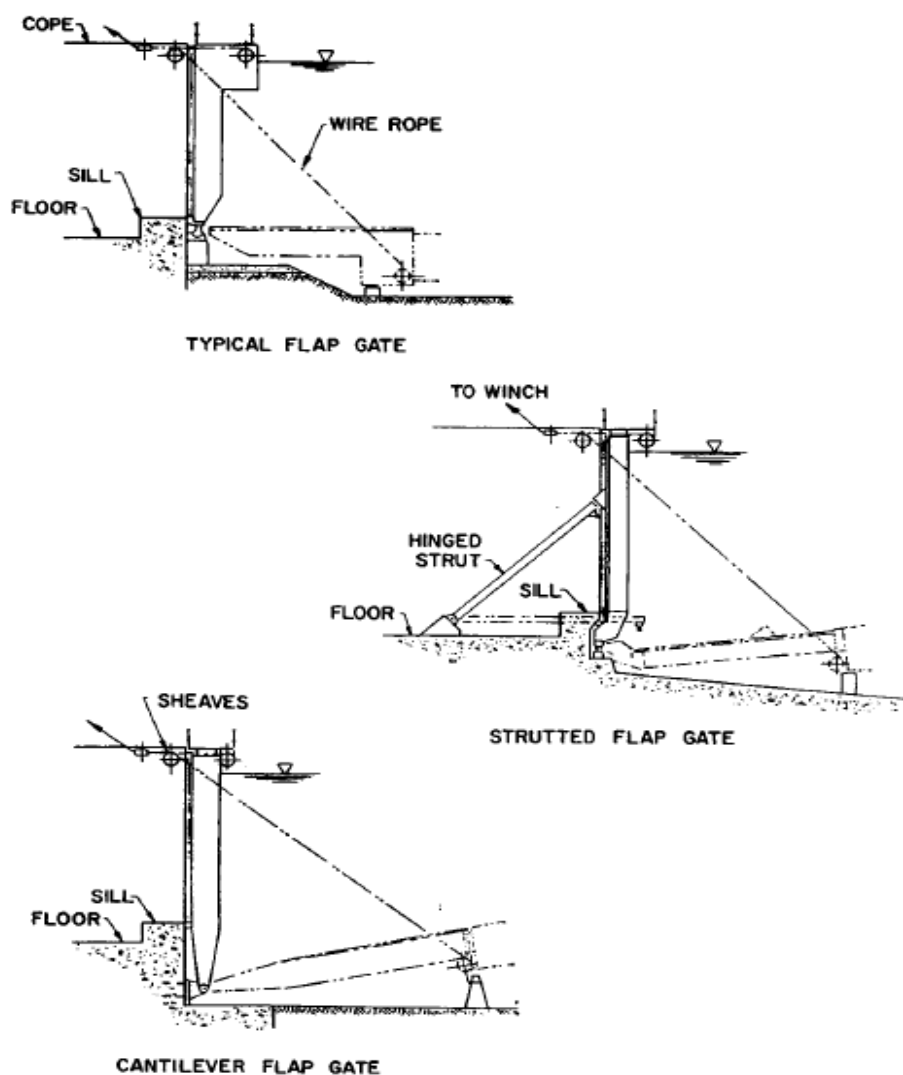


Slika 39. Krilna vrata doka [6]

Vodonepropusnost se postiže najčešće postavljajući tvrde gume na sredini krila, na zidu zgloba i na dnu gdje je prag. Ova vrata brzo se otvaraju i zahtijevaju manju posadu za upravljanje. Vrata su projektirana s određenim uzgonom čime se smanjuje opterećenje na zglobovima i samim time uklanja potreba za donjim valjcima. Održavanje je otežano i smatra se neprikladnim za velike ulazne širine.

8.5. Preklopna vrata

Preklopna vrata čini jedno krilo koje obuhvaća čitavu širinu pristaništa, uzglobljeno vodoravno s dva teška ležaja u razini poda doka. Rad vrata je jednostavan i brz tj. mogu biti podignuta i spuštена za 5 min na električni pogon vitla.



Slika 40. Izgled preklopnih vrata [6]

Mogu biti smješteni u plovni put ili kanal i ne zahtijevaju posebno udubljenje na podu ili zidu strukture. Vrata su projektirana da budu poluplutajuća čime bi se smanjilo opterećenje na žičani konop koji služi za otvaranje i zatvaranje krila. Projekt vrata za ovaj slučaj uvelike ovisi o omjeru širine i visine.

9. DIZALICE SUHOG DOKA

Dizalice predstavljaju kapitalnu opremu brodogradilišta, sa zadaćom podizanje i dovlačenje tereta do potrebnog mjesta. Zbog izgradnje suvremenih brodova koji imaju značajno veće dimenzije i tonažu, počele su se upotrebljavati i dizalice koje imaju značajno veći kapacitet i doseg.

U prošlosti kapacitet podizanja dizalice je bio $0,2\text{ MN}$ i to je bilo dovoljno, a današnje portalne dizalice imaju mogućnosti podizanja i do 15 MN .

Dizalice koje se koriste za suhe dokove dijele se na:

- konzolne dizalice
- portalne dizalice
- pokretne dizalice
- plutajuće dizalice

Portalne dizalice se uglavnom koriste kod građevnih dokova, dok se ostale dizalice mogu naći kod remontnih dokova. Pokretne dizalice s kapacitetom podizanja od $0,5\text{ MN}$ u širokoj su upotrebi kao standardna dodatna oprema suhog doka i mogu se postaviti u unutrašnjost doka. Plutajuće dizalice sa kapacitetom podizanja preko 4 MN smatraju se pomoćnom opremom.

Glavni zahtjevi za konzolne dizalice su:

- dosegnuti visinu oko 50 m iznad razine doka
- dosegnuti brzinu glavne kuke između 5 i 20 m/min
- radna snaga pri punom zaokretu s okretnom brzinom od $0,3$ do $1,0\text{ rpm}$
- brzina kretanja između 10 i 40 m/min
- doseg glavne kuke oko 1 m izvan uzdužne osi doka
- mogućnost rada za dvije ili više dizalica u timu

Tablica 4. Prikaz nosivosti, dosega i zakretnog momenta konzolnih dizalica kroz određeno vremensko razdoblje [8]

Godina izgradnje	Maksimalni kapacitet podizanja (MN) i odgovarajući doseg (m)	Kapacitet podizanja (kN) pri maksimalnom dosegu (m)	Maksimalni zakretni Moment (kN/m)
1943	200 x 18	150 x 22	3600
1954	400 x 19	100 x 37,5	7600
1956	500 x 16,5	250 x 33	8250
1959	1000 x 25	500 x 38	25000
1961	900 x 31	550 x 45	28800
1966	1200 x 39	750 x 49	46800
1966	2000 x 35	2000 x 35	70000
1975	2000 x 40	1000 x 65	80000
1976	3000 x 27	1000 x 65	82000

Glavni zahtjevi za portalne dizalice su:

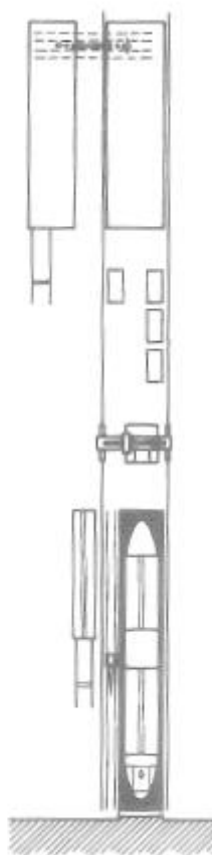
- dosegnuti visinu veću od maksimalne visine broda koji se gradi
- samopropulzija koja osigurava paralelno kretanje obje noge
- mogućnost rada dvije ili više dizalica u timu s kukama koje omogućuju postavljanje svake sekcije u uspravnu poziciju
- mogućnost okomite rotacije podignutog objekta
- mora obuhvaćati i površinu za montažu ili skladištenje

Suhi dokovi opremljeni su čitavim kompleksom dizalica različitog kapaciteta podizanja i dosega. Učinkovitost dizalica ovisi o smještaju sekcija/blokova kao i o smještaju montažnog područja te proizvodnog pogona.

Postoje dva načina smještaja montažnih površina i proizvodnog pogona:

- površina za montažu smještena je duž doka, a proizvodni pogon sa strane
- u uzdužnom smjeru nalaze se i proizvodni pogon i montažna površina

Današnji najproduktivniji način je onaj sa portalnom dizalicom koja pokriva montažno područje i proizvodni pogon sa pokretnim krovom.



Slika 41. Najproduktivniji način smještaja montažne površine i proizvodnog pogona s pokretnim krovom [8]

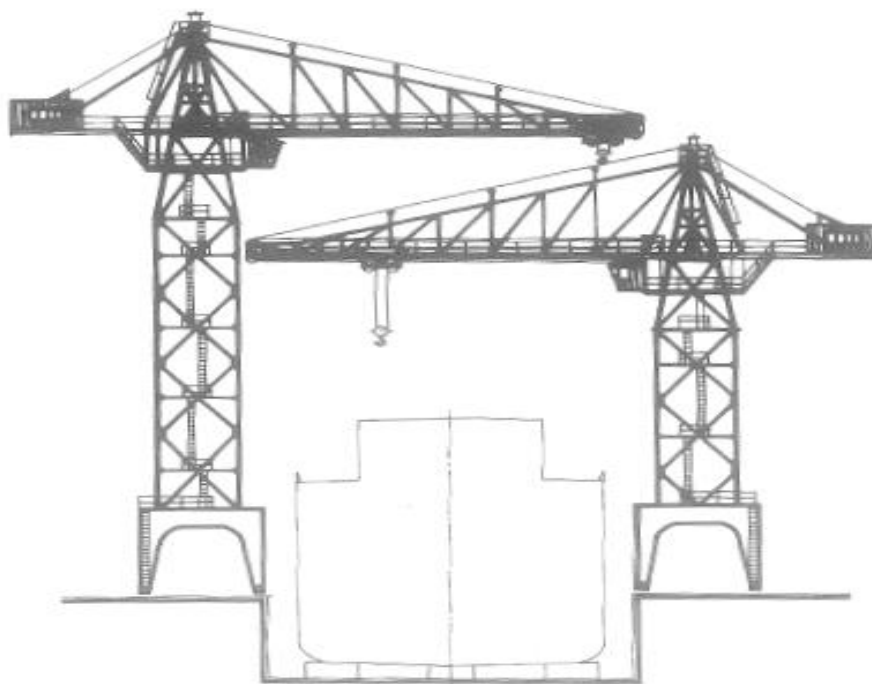
9.1. Konzolne dizalice

Postoji više tipova konzolnih dizalica koje se ne razlikuju samo po pogonu i broju kuka, nego i metodi izgradnje, a to su:

- pokretne konzolne dizalice sa stabilnim usponom
- pokretno-prihvatne konzolne dizalice s dvostrukom granom
- pokretno-prihvatne konzolne dizalice s jednostrukom granom
- stacionarna "hammer head" dizalica

9.1.1. *Pokretna konzolna dizalica sa stabilnim usponom*

Imaju dohvat jednak širini doka i tako pokrivaju cijelo područje. Ukoliko na istom radnom mjestu rade dvije ili više dizalica potrebno je da svaka dizalica radi na različitoj visini kako bi se izbjeglo sudaranje dizalica. Najčešće se koristi kao pomoćna oprema portalnoj dizalici.



Slika 42. Dizalica sa stabilnim usponom [8]

9.1.2. *Pokretno-prihvatna dizalica s dvostrukom granom*

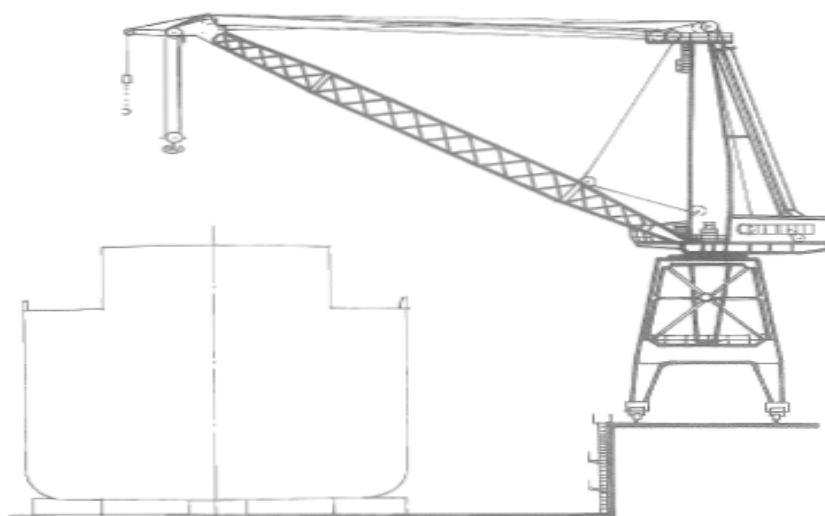
Ovaj tip najčešće se koristi kod građevnih i remontnih suhih dokova. Veoma su efikasne i zaštićene od mogućeg prekrcaja. Imaju kapacitet podizanja $1,5\text{ MN}$ i doseg od 60 m . Brzina kretanja im je od $25 - 32\text{ m/min}$, a brzina podizanja tereta 6 m/min . Zakretna brzina im se kreće od $0,3 - 1\text{ r/min}$.



Slika 43. Pokretno-prihvatna dizalica s dvostrukom granom [8]

9.1.3. Pokretno-prihvatna dizalica s jednostrukom granom

Ovaj tip dizalice ima kapacitet podizanja $1,2\text{ MN}$ i slična je prethodnim dizalicama. Brzina kretanja im se kreće od $25 - 40\text{ m/min}$, brzina podizanja tereta 10 m/min , a zakretna brzina im je $0,5 - 0,75\text{ r/min}$.



Slika 44. Pokretno-prihvatna dizalica s jednom granom [8]

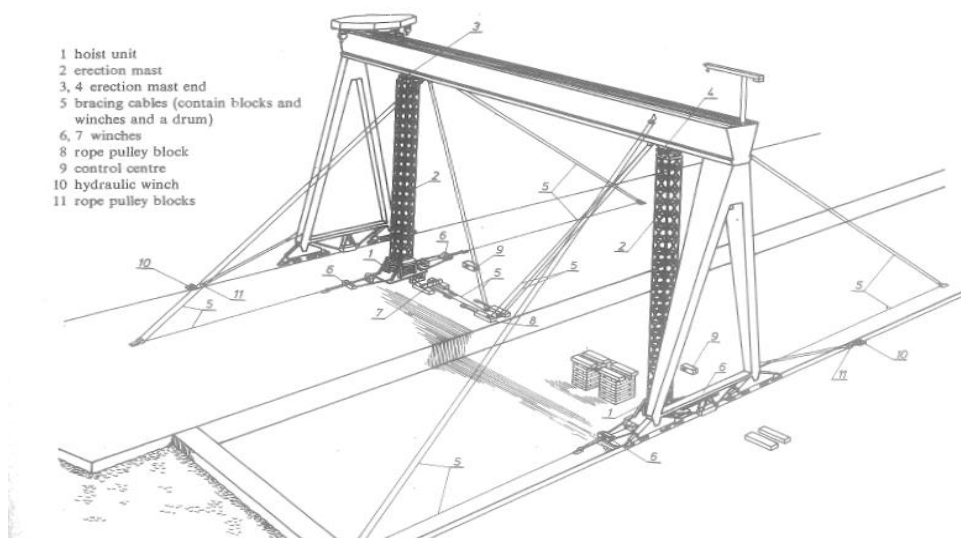
9.1.4. Stacionarna "hammer head" dizalica

Stacionarna "hammer head" dizalica je jedna od najstarijih dizalica koja se koristila u suhim dokovima. Zbog svoje statičnosti se jedino još koristi za podizanje teške opreme kod izgrađenih brodova. Kapacitet podizanja im se kreće oko $1,5\text{ MN}$ pri brzini podizanja tereta od 3 m/min i zakretnoj brzini od $0,24\text{ r/min}$.

9.2. Portalne dizalice

Portalne dizalice mogu pokriti cijelu širinu doka projektiranu za gradnju brodova preko $1\,000\,000\text{ DWT}$. Portalne dizalice zahtijevaju staze koje se konstrukcijom ne razlikuju značajno od staza koje koriste konzolne dizalice i njihov izgled se ne razlikuje značajnije od izgleda drugih dizalica.

Struktura koja je potrebna za smještaj dizalice zahtjeva posebno razmatranje zbog mogućeg utjecaja na strukturne elemente sekcije zida, poda, staze doka i mjesta koje se nalazi oko doka. Glavna zadaća im je prenošenje gotovih blokova ili sekcija iz radionica koje po mogućnosti imaju otvoren krov ili s mjesta koja su opremljena s konzolnim dizalicama. Ukupni kapacitet podizanja je oko 55 MN za visine ispod 20 m i 40 MN za visine od $20 - 100\text{ m}$.



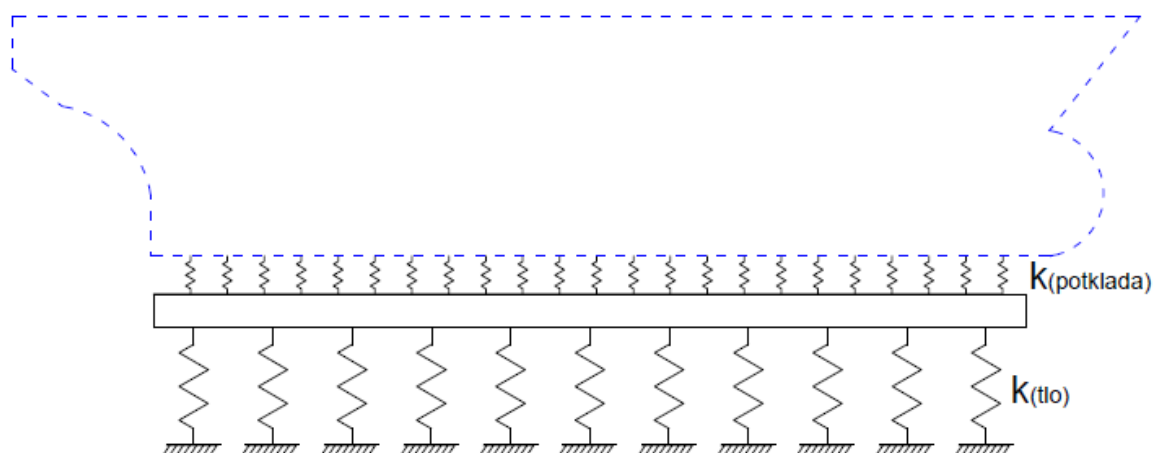
Slika 45. Karakteristike portalnih dizalica [8]

Tablica 5. Karakteristike portalnih dizalica koje se nalaze u suhim dokovima [8]

Grad, Država, Brodogradilište	Maksimalni kapacitet podizanja (MN)	Visina podizanja sa tračnica (m)	Raspon	Ukupna visina
Malmö, Švedska Kockums M.V.AB	15	105	174	135
Gdynia, Poljska Stoznia im. Komuny Paryskiej	9	73	153	105,5
Uddevalla, Švedska Uddevallavarvet AB	9	95,5	185	127
Belfast, Sjeverna irska Harland & Wolff	8,4	70	140	95,8
El Ferrol, Španjolska Astilleros del Noroeste SA	8	77	145	87
Malmö, Švedska Kockums M.V.AB	8	60	81,5	77
St. Nazarie, Francuska Chantiers de l'Atlantique	7,5	59	130	
Trieste, Italija Cantiere Navale del' Italcantieri	6	56	88	
Copenhagen, Danska Burmeister & Wain	6	40	42,5	45,1
Perno, Finska Wärtsila	6	70	154	105,5
Chiba, Japan Mitsui S. & E. Co, Ltd	6	56	140	
Gdynia, Poljska Stocznia im. Komuny Paryskiej	5,5	48	45	65

10. POJEDNOSTAVLJENA STRUKTURNA ANALIZA SUHOG DOKA

U preliminarnoj fazi osnivanja suhog doka moguće je provesti relativno jednostavnu strukturnu analizu modelirajući suhi dok (s objektom gradnje/remonta) kao Eulerovu gredu na elastičnoj podlozi, opterećenu koncentriranim silama objekta u gradnji i kontinuiranim silama reakcije elastične podloge (kojom se modelira mehanika tla), [Slika 46].

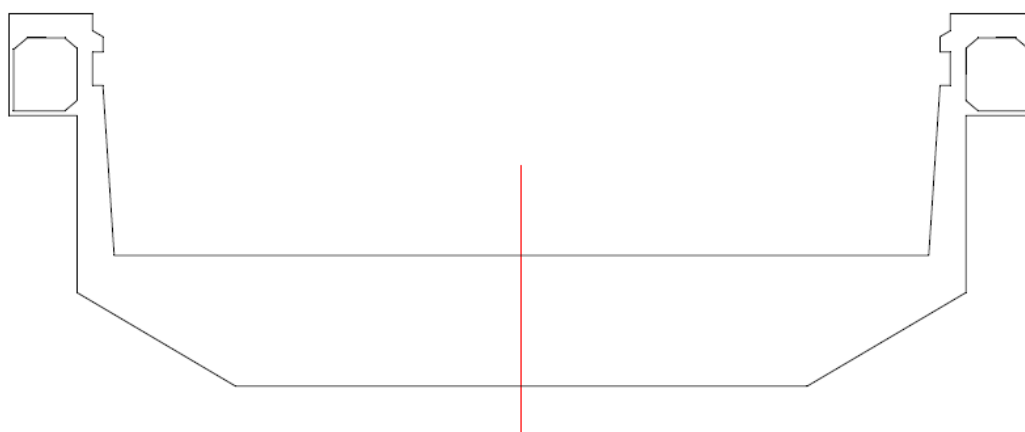


Slika 46. Prikaz broda koji je oslonjen na elastičnu podlogu tla i potklada

Za analizu strukture izabran je betonski masivni suhi dok koji je izgrađen 1964. god. te se nalazi u Hebburnu, u Engleskoj, [Slika 47]. Njegove dimenzije su:

- efektivna duljina $L_u = 260 \text{ m}$
- efektivna širina $S_u = 45,52 \text{ m}$
- dubina na ulazu $h_w = 11,7 \text{ m}$

Ovaj dok izgrađen je kao remontni i ima mogućnost povećanja svoje duljine do 305 m , a debljina ploče poda mu je $7,32 \text{ m}$. Uzdužni nagib poda iznosi $1:300$. Bočni zidovi doka su građeni od ojačanog betona i njihova debljina je $1,68 \text{ m}$. Moment tromosti poprečnog presjeka iznosi $I = 8,0417 \cdot 10^3 \text{ m}^4$.



Slika 47. Poprečni presjek doka koji se koristi za strukturnu analizu

Vrijednosti modula elastičnosti tla ovisi o njegovom sastavu, a najčešće su to glina, pijesak i šljunak.

Tablica 6. Moduli elastičnosti za glinu, pijesak i šljunak [13]

Vrsta tla		Modul elastičnosti [kN/m ²]
Gline		
	Meke	1000-15000
	Srednje tvrde	15000-3000
	Tvrde	30000-100000
Pijesci		
	Prašinasti	7000-20000
	Rahli	10000-20000
	Srednje zbijeni	20000-40000
	Zbijeni	40000-80000
Šljunci		
	Rahli	30000-80000
	Srednje zbijeni	70000-100000
	Zbijeni	100000-200000

Kako bi uspjeli izvršiti analizu strukture doka, kao vrstu tla na kojem se dok nalazi odabran je srednje zbijeni šljunak koji ima module elastičnosti $E = 100000 \text{ kN/m}^2$.

Koeficijent posteljice tla odnos je naprezanja i slijeganja koje je posljedica tog naprezanja i za dopušteno slijeganje od $2,5 \text{ cm}$ računa se prema formuli Meyerhof-a i Baika-a koja je rađena za temeljnu stopu dimenzija $1,5 \times 1,5 \times 1,2 \text{ m}$:

$$k_s = \frac{E}{B_s \cdot (1 - \nu_s^2)}$$
$$k_s = 86\,805,56 \text{ kN/m}^3$$

10.1. Izvod jednadžbe ravnoteže grede na elastičnoj podlozi opterećene koncentriranom silom

Diferencijalna jednadžba (homogeno rješenje):

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} + kw = 0$$

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + \frac{k}{EI} \cdot w = 0$$

Karakteristična jednadžba:

$$4\alpha^4 - \frac{k}{EI} = 0$$

$$4\alpha^4 = \frac{k}{EI}$$

$$r = e^{\alpha x} \Rightarrow r^4 + 4\alpha^4 = 0$$

Rješenje homogene diferencijalne jednadžbe:

$$r^4 + 4\alpha^4 = 0 \Rightarrow r^4 = -4\alpha^4$$

$$r_1 = \alpha \cdot (1 + i)$$

$$r_2 = \alpha \cdot (1 - i)$$

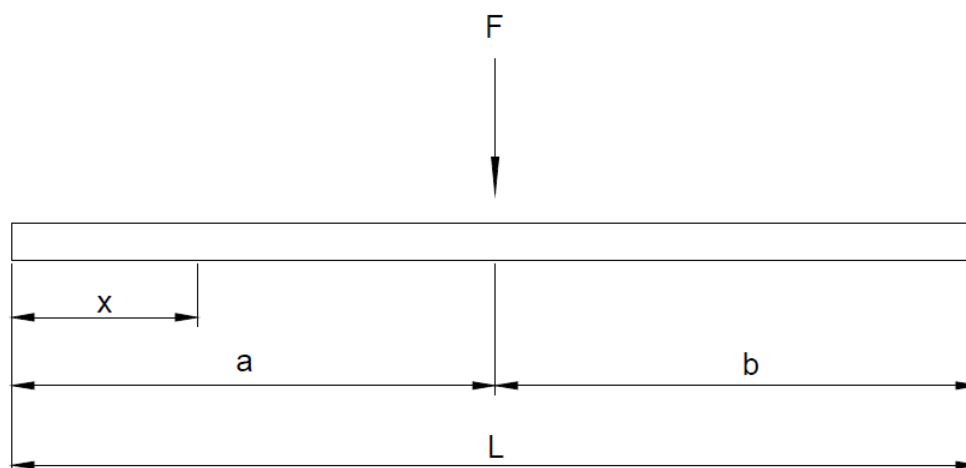
$$r_3 = \alpha \cdot (-1 + i)$$

$$r_4 = \alpha \cdot (-1 - i)$$

$$w = e^{\alpha x} (A_1 \sin \alpha x + A_2 \cos \alpha x) + e^{-\alpha x} (A_3 \sin \alpha x + A_4 \cos \alpha x)$$

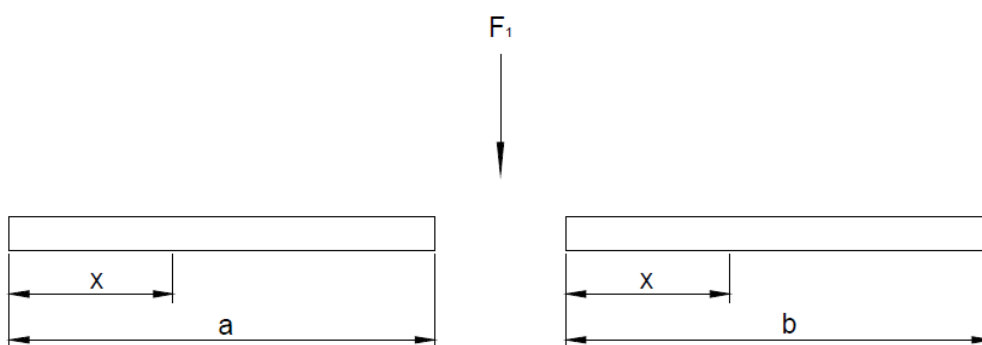
Matrično zapisane vrijednosti progiba i derivacija:

$$\begin{Bmatrix} w \\ w' \\ w'' \\ w''' \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{\alpha x} \sin \alpha x & e^{\alpha x} \cos \alpha x & e^{-\alpha x} \sin \alpha x & e^{-\alpha x} \cos \alpha x \\ \alpha e^{\alpha x} \sin \alpha x + & \alpha e^{\alpha x} \cos \alpha x - & -\alpha e^{-\alpha x} \sin \alpha x + & -\alpha e^{-\alpha x} \cos \alpha x - \\ \alpha e^{\alpha x} \cos \alpha x & \alpha e^{\alpha x} \sin \alpha x & \alpha e^{-\alpha x} \cos \alpha x & \alpha e^{-\alpha x} \sin \alpha x \\ 2\alpha^2 e^{\alpha x} \cos \alpha x & -2\alpha^2 e^{\alpha x} \sin \alpha x & -2\alpha^2 e^{-\alpha x} \cos \alpha x & 2\alpha^2 e^{-\alpha x} \sin \alpha x \\ 2\alpha^3 e^{\alpha x} \cos \alpha x - & -2\alpha^3 e^{\alpha x} \sin \alpha x & 2\alpha^3 e^{-\alpha x} \cos \alpha x + & -2\alpha^3 e^{-\alpha x} \sin \alpha x + \\ 2\alpha^3 e^{\alpha x} \sin \alpha x & -2\alpha^3 e^{\alpha x} \cos \alpha x & 2\alpha^3 e^{-\alpha x} \sin \alpha x & 2\alpha^3 e^{-\alpha x} \cos \alpha x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix}$$



Slika 48. Prikaz djelovanja sile na gredu

Određivanje odziva grede na elastičnoj podlozi uslijed djelovanja koncentrirane sile temelji se rastavljanju grede na mjestu djelovanja koncentrirane sile i uvođenju sile u jednadžbu kroz odgovarajuće rubne uvjete [Slika 47, Slika 48].



Slika 49. Postavljanje rubnih uvjeta za svaki od elemenata

Rubni uvjeti za problem s jednom koncentriranom silom:

$$M_1(0) = 0$$

$$Q_1(0) = 0$$

$$w_1(a) = w_2(0)$$

$$\varphi_1(a) = \varphi_2(0)$$

$$M_1(a) = M_2(0)$$

$$Q_1(a) - Q_2(0) = \frac{F}{EI}$$

$$M_2(b) = 0$$

$$Q_2(b) = 0$$

$$EI_1 = EI_2$$

$$(1) \quad M_1(0) = 0 \Rightarrow 2\alpha^2 A_1 - 2\alpha^2 A_3 = 0 \Rightarrow A_1 - A_3 = 0$$

$$(2) \quad Q_1(0) = 0 \Rightarrow 2\alpha^3 A_1 - 2\alpha^3 A_2 + 2\alpha^3 A_3 + 2\alpha^3 A_4 = 0 \Rightarrow A_1 - A_2 + A_3 + A_4 = 0$$

$$(3) \quad w_1(a) - w_2(0) = 0$$

$$\Rightarrow e^{\alpha a} A_1 \sin \alpha a + e^{\alpha a} A_2 \cos \alpha a + e^{-\alpha a} A_3 \sin \alpha a + e^{-\alpha a} A_4 \cos \alpha a - B_2 - B_4 = 0$$

$$(4) \quad \varphi_1(a) - \varphi_2(0) = 0$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow & A_1 \cdot (\alpha e^{\alpha a} \sin \alpha a + \alpha e^{\alpha a} \cos \alpha a) + A_2 \cdot (\alpha e^{\alpha a} \cos \alpha a - \alpha e^{\alpha a} \sin \alpha a) \\ & + A_3 \cdot (-\alpha e^{-\alpha a} \sin \alpha a + \alpha e^{-\alpha a} \cos \alpha a) + A_4 \\ & \cdot (-\alpha e^{-\alpha a} \cos \alpha a - \alpha e^{-\alpha a} \sin \alpha a) - \alpha B_1 - \alpha B_2 - \alpha B_3 + \alpha B_4 = 0 \end{aligned}$$

$$(5) \quad M_1(a) - M_2(0) = 0$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow & 2\alpha^2 e^{\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_1 - 2\alpha^2 e^{\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_2 - 2\alpha^2 e^{-\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_3 \\ & - 2\alpha^2 e^{-\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_4 - 2\alpha^2 B_1 + 2\alpha^2 B_3 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(6) \quad Q_1(a) - Q_2(0) &= \frac{F}{EI} \\
&\Rightarrow A_1 \cdot (2\alpha^3 e^{\alpha a} \cos \alpha a - 2\alpha^3 e^{\alpha a} \sin \alpha a) + A_2 \\
&\quad \cdot (-2\alpha^3 e^{\alpha a} \sin \alpha a - 2\alpha^3 e^{\alpha a} \cos \alpha a) + A_3 \\
&\quad \cdot (2\alpha^3 e^{-\alpha a} \cos \alpha a + 2\alpha^3 e^{-\alpha a} \sin \alpha a) + A_4 \\
&\quad \cdot (-2\alpha^3 e^{-\alpha a} \sin \alpha a + 2\alpha^3 e^{-\alpha a} \cos \alpha a) - 2\alpha^3 B_1 + 2\alpha^3 B_2 - 2\alpha^3 B_3 \\
&\quad - 2\alpha^3 B_4 = \frac{F}{EI} \cdot \frac{1}{2\alpha^3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(7) \quad M_2(b) &= 0 \\
&\Rightarrow 2\alpha^2 e^{\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_1 + 2\alpha^2 e^{\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_2 + 2\alpha^2 e^{-\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_3 \\
&\quad + 2\alpha^2 e^{-\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_4 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(8) \quad Q_2(b) &= 0 \\
&\Rightarrow (2\alpha^3 e^{\alpha b} \cos \alpha b - 2\alpha^3 e^{\alpha b} \sin \alpha b) \cdot B_1 + (-2\alpha^3 e^{\alpha b} \sin \alpha b \\
&\quad - 2\alpha^3 e^{\alpha b} \cos \alpha b) \cdot B_2 + (2\alpha^3 e^{-\alpha b} \cos \alpha b + 2\alpha^3 e^{-\alpha b} \sin \alpha b) \cdot B_3 \\
&\quad + (-2\alpha^3 e^{-\alpha b} \sin \alpha b + 2\alpha^3 e^{-\alpha b} \cos \alpha b) \cdot B_4 = 0
\end{aligned}$$

Sustav jednažbi:

$$(1) \quad A_1 - A_3 = 0$$

$$(2) \quad A_1 - A_2 + A_3 + A_4$$

$$(3) \quad e^{\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_1 + e^{\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_2 + e^{-\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_3 + e^{-\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_4 - B_2 - B_4 = 0$$

$$\begin{aligned}
(4) \quad e^{\alpha a} \cdot (\sin \alpha a + \cos \alpha a) \cdot A_1 + e^{\alpha a} \cdot (\cos \alpha a - \sin \alpha a) \cdot A_2 + e^{-\alpha a} \cdot (\cos \alpha a - \sin \alpha a) \\
\cdot A_3 + e^{-\alpha a} \cdot (-\cos \alpha a - \sin \alpha a) \cdot A_4 - B_1 - B_2 - B_3 - B_4 = 0
\end{aligned}$$

$$(5) \quad e^{\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_1 - e^{\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_2 - e^{-\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_3 - e^{-\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_4 - B_1 + B_3 = 0$$

$$\begin{aligned}
(6) \quad e^{\alpha a} \cdot (\cos \alpha a - \sin \alpha a) \cdot A_1 + e^{\alpha a} \cdot (-\sin \alpha a - \cos \alpha a) \cdot A_2 + e^{-\alpha a} \cdot (\cos \alpha a \\
+ \sin \alpha a) \cdot A_3 + e^{-\alpha a} \cdot (-\sin \alpha a + \cos \alpha a) \cdot A_4 - B_1 + B_2 - B_3 - B_4 \\
= \frac{F}{EI} \cdot \frac{1}{2\alpha^3}
\end{aligned}$$

$$(7) \quad e^{\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_1 + e^{\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_2 + e^{-\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_3 + e^{-\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_4 = 0$$

$$\begin{aligned}
(8) \quad e^{\alpha b} \cdot (\cos \alpha b - \sin \alpha b) \cdot B_1 + e^{\alpha b} \cdot (-\sin \alpha b - \cos \alpha b) \cdot B_2 + e^{-\alpha b} \cdot (\cos \alpha b \\
+ \sin \alpha b) \cdot B_3 + e^{-\alpha b} \cdot (-\sin \alpha b - \cos \alpha b) \cdot B_4 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{array}{cccccccc}
 A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 \\
 \left[\begin{array}{cccccccc}
 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 e^{aa} \sin aa & e^{aa} \cos aa & e^{-aa} \sin aa & e^{-aa} \cos aa & 0 & -1 & 0 & -1 \\
 e^{aa} \cdot (\sin aa + \cos aa) & e^{aa} \cdot (\cos aa - \sin aa) & e^{-aa} \cdot (\cos aa - \sin aa) & e^{-aa} \cdot (-\cos aa - \sin aa) & -1 & -1 & -1 & 1 \\
 e^{aa} \cos aa & -e^{aa} \sin aa & -e^{-aa} \cos aa & -e^{-aa} \sin aa & -1 & 0 & 1 & 0 \\
 e^{aa} \cdot (\cos aa - \sin aa) & e^{aa} \cdot (-\sin aa - \cos aa) & e^{-aa} \cdot (\cos aa + \sin aa) & e^{-aa} \cdot (-\sin aa + \cos aa) & -1 & 1 & -1 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & e^{ab} \cos ab & -e^{ab} \sin ab & -e^{-ab} \cos ab & -e^{-ab} \sin ab \\
 0 & 0 & 0 & 0 & e^{ab} \cdot (\cos ab - \sin ab) & e^{ab} \cdot (-\sin ab - \cos ab) & e^{-ab} \cdot (\cos ab + \sin ab) & e^{-ab} \cdot (-\sin ab + \cos ab)
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

$$\begin{Bmatrix} A_i \\ B_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{F}{EI} \cdot \frac{1}{2\alpha^3} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Kada se odrede konstante interpolacije, vraća se u jednadžbe progiba za jednu i drugu gredu:

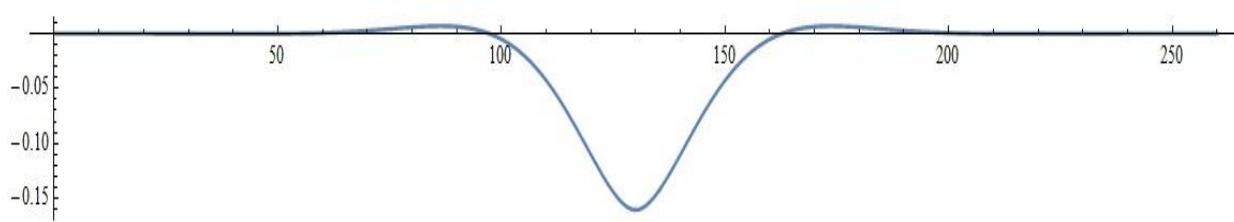
$$w_1 = \sum_{i=1}^4 A_i \varphi_i$$

$$w_2 = \sum_{i=1}^4 B_i \varphi_i$$

Funkcije φ_i su iste, α je isti, ali:

$$x_{1 \max} = a,$$

$$x_{2 \max} = b.$$

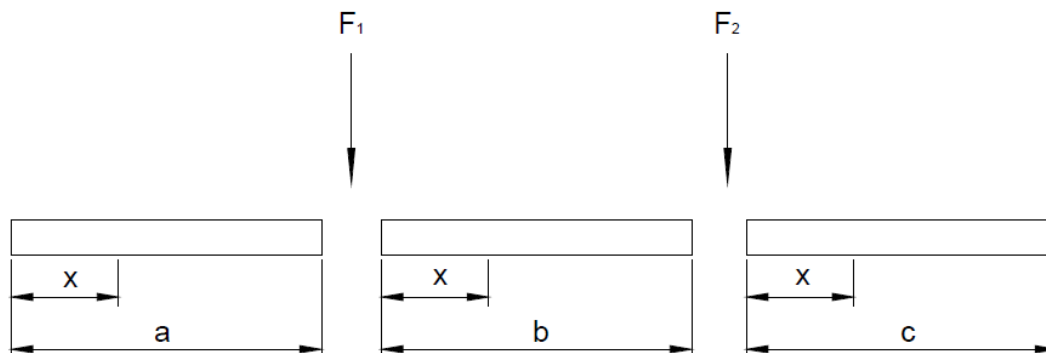


Slika 50. Deformacija koja je nastala djelovanjem sile određenog iznosa

Numerički rezultati razvijenog proračunskog modela prikazani su na Slici 50. Uslijed djelovanja sile $F = 3867,08 \cdot 10^2 \text{ N}$ na sredini ukupne dužine, deformacija nastaje u rasponu od 100 m do 160 m. Najveća deformacija je na 130 m, gdje sila djeluje i iznosi 0,15 mm.

10.2. Poopćenje izraza za odziv grede na elastičnoj podlozi uslijed djelovanja dvije koncentrirane sile

Model s jednom koncentriranom silom relativno jednostavno se poopćava [Slika 51].



Slika 51. Postavljanje rubnih uvjeta za tri elementa

Rubni uvjeti:

$$M_1(0) = 0$$

$$Q_1(0) = 0$$

$$w_1(a) = w_2(0)$$

$$\varphi_1(a) = \varphi_2(0)$$

$$M_1(a) = M_2(0)$$

$$Q_1(a) - Q_2(0) = \frac{F_1}{EI}$$

$$w_2(b) = w_3(0)$$

$$\varphi_2(b) = \varphi_3(0)$$

$$M_2(b) = M_3(0)$$

$$Q_2(b) - Q_3(0) = \frac{F_2}{EI}$$

$$M_3(c) = 0$$

$$Q_3(c) = 0$$

$$EI_1 = EI_2 = EI_3$$

$$(1) \quad M_1(0) = 0 \Rightarrow 2\alpha^2 A_1 - 2\alpha^2 A_3 = 0 \Rightarrow A_1 - A_3 = 0$$

$$(2) \quad Q_1(0) = 0 \Rightarrow 2\alpha^3 A_1 - 2\alpha^3 A_2 + 2\alpha^3 A_3 + 2\alpha^3 A_4 = 0 \Rightarrow A_1 - A_2 + A_3 + A_4 = 0$$

$$(3) \quad w_1(a) - w_2(0) = 0$$

$$\Rightarrow e^{\alpha a} A_1 \sin \alpha a + e^{\alpha a} A_2 \cos \alpha a + e^{-\alpha a} A_3 \sin \alpha a + e^{-\alpha a} A_4 \cos \alpha a - B_2 - B_4 = 0$$

$$(4) \quad \varphi_1(a) - \varphi_2(0) = 0$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow A_1 \cdot (\alpha e^{\alpha a} \sin \alpha a + \alpha e^{\alpha a} \cos \alpha a) + A_2 \cdot (\alpha e^{\alpha a} \cos \alpha a - \alpha e^{\alpha a} \sin \alpha a) \\ &+ A_3 \cdot (-\alpha e^{-\alpha a} \sin \alpha a + \alpha e^{-\alpha a} \cos \alpha a) + A_4 \\ &\cdot (-\alpha e^{-\alpha a} \cos \alpha a - \alpha e^{-\alpha a} \sin \alpha a) - \alpha B_1 - \alpha B_2 - \alpha B_3 + \alpha B_4 = 0 \end{aligned}$$

$$(5) \quad M_1(a) - M_2(0) = 0$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow 2\alpha^2 e^{\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_1 - 2\alpha^2 e^{\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_2 - 2\alpha^2 e^{-\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_3 \\ &- 2\alpha^2 e^{-\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_4 - 2\alpha^2 B_1 + 2\alpha^2 B_3 = 0 \end{aligned}$$

$$(6) \quad Q_1(a) - Q_2(0) = \frac{F}{EI}$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow A_1 \cdot (2\alpha^3 e^{\alpha a} \cos \alpha a - 2\alpha^3 e^{\alpha a} \sin \alpha a) + A_2 \\ &\cdot (-2\alpha^3 e^{\alpha a} \sin \alpha a - 2\alpha^3 e^{\alpha a} \cos \alpha a) + A_3 \\ &\cdot (2\alpha^3 e^{-\alpha a} \cos \alpha a + 2\alpha^3 e^{-\alpha a} \sin \alpha a) + A_4 \\ &\cdot (-2\alpha^3 e^{-\alpha a} \sin \alpha a + 2\alpha^3 e^{-\alpha a} \cos \alpha a) - 2\alpha^3 B_1 + 2\alpha^3 B_2 - 2\alpha^3 B_3 \\ &- 2\alpha^3 B_4 = \frac{F}{EI} \cdot \frac{1}{2\alpha^3} \end{aligned}$$

$$(7) \quad w_2(b) - w_3(0) = 0$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow e^{\alpha b} B_1 \sin \alpha b + e^{\alpha b} B_2 \cos \alpha b + e^{-\alpha b} B_3 \sin \alpha b + e^{-\alpha b} B_4 \cos \alpha b - C_2 - C_4 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$(8) \quad \varphi_2(b) - \varphi_3(0) = 0$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow B_1 \cdot (\alpha e^{\alpha b} \sin \alpha b + \alpha e^{\alpha b} \cos \alpha b) + B_2 \cdot (\alpha e^{\alpha b} \cos \alpha b - \alpha e^{\alpha b} \sin \alpha b) + B_3 \\ &\cdot (-\alpha e^{-\alpha b} \sin \alpha b + \alpha e^{-\alpha b} \cos \alpha b) + B_4 \cdot (-\alpha e^{-\alpha b} \cos \alpha b - \alpha e^{-\alpha b} \sin \alpha b) \\ &- \alpha C_1 - \alpha C_2 - \alpha C_3 + \alpha C_4 = 0 \end{aligned}$$

$$(9) \quad M_2(b) - M_3(0) = 0$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow 2\alpha^2 e^{\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_1 - 2\alpha^2 e^{\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_2 - 2\alpha^2 e^{-\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_3 \\ &- 2\alpha^2 e^{-\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_4 - 2\alpha^2 C_1 + 2\alpha^2 C_3 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(10) \quad Q_2(b) - Q_3(0) &= \frac{F}{EI} \\
&\Rightarrow B_1 \cdot (2\alpha^3 e^{\alpha b} \cos \alpha b - 2\alpha^3 e^{\alpha b} \sin \alpha b) + B_2 \\
&\quad \cdot (-2\alpha^3 e^{\alpha b} \sin \alpha b - 2\alpha^3 e^{\alpha b} \cos \alpha b) + B_3 \\
&\quad \cdot (2\alpha^3 e^{-\alpha b} \cos \alpha b + 2\alpha^3 e^{-\alpha b} \sin \alpha b) + B_4 \\
&\quad \cdot (-2\alpha^3 e^{-\alpha b} \sin \alpha b + 2\alpha^3 e^{-\alpha b} \cos \alpha b) - 2\alpha^3 C_1 + 2\alpha^3 C_2 - 2\alpha^3 C_3 - 2\alpha^3 C_4 \\
&= \frac{F}{EI} \cdot \frac{1}{2\alpha^3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(11) \quad M_3(c) &= 0 \\
&\Rightarrow 2\alpha^2 e^{\alpha c} \cos \alpha c \cdot C_1 - 2\alpha^2 e^{\alpha c} \sin \alpha c \cdot C_2 - 2\alpha^2 e^{-\alpha c} \cos \alpha c \cdot C_3 \\
&\quad - 2\alpha^2 e^{-\alpha c} \sin \alpha c \cdot C_4 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(12) \quad Q_3(c) &= 0 \\
&\Rightarrow (2\alpha^3 e^{\alpha c} \cos \alpha c - 2\alpha^3 e^{\alpha c} \sin \alpha c) \cdot C_1 + (-2\alpha^3 e^{\alpha c} \sin \alpha c - 2\alpha^3 e^{\alpha c} \cos \alpha c) \\
&\quad \cdot C_2 + (2\alpha^3 e^{-\alpha c} \cos \alpha c + 2\alpha^3 e^{-\alpha c} \sin \alpha c) \cdot C_3 + (-2\alpha^3 e^{-\alpha c} \sin \alpha c \\
&\quad + 2\alpha^3 e^{-\alpha c} \cos \alpha c) \cdot C_4 = 0
\end{aligned}$$

Sustav jednažbi:

$$(1) \quad A_1 - A_3 = 0$$

$$(2) \quad A_1 - A_2 + A_3 + A_4$$

$$(3) \quad e^{\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_1 + e^{\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_2 + e^{-\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_3 + e^{-\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_4 - B_2 - B_4 = 0$$

$$\begin{aligned}
(4) \quad e^{\alpha a} \cdot (\sin \alpha a + \cos \alpha a) \cdot A_1 + e^{\alpha a} \cdot (\cos \alpha a - \sin \alpha a) \cdot A_2 + e^{-\alpha a} \cdot (\cos \alpha a - \sin \alpha a) \\
\cdot A_3 + e^{-\alpha a} \cdot (-\cos \alpha a - \sin \alpha a) \cdot A_4 - B_1 - B_2 - B_3 - B_4 = 0
\end{aligned}$$

$$(5) \quad e^{\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_1 - e^{\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_2 - e^{-\alpha a} \cos \alpha a \cdot A_3 - e^{-\alpha a} \sin \alpha a \cdot A_4 - B_1 + B_3 = 0$$

$$\begin{aligned}
(6) \quad e^{\alpha a} \cdot (\cos \alpha a - \sin \alpha a) \cdot A_1 + e^{\alpha a} \cdot (-\sin \alpha a - \cos \alpha a) \cdot A_2 + e^{-\alpha a} \cdot (\cos \alpha a \\
+ \sin \alpha a) \cdot A_3 + e^{-\alpha a} \cdot (-\sin \alpha a + \cos \alpha a) \cdot A_4 - B_1 + B_2 - B_3 - B_4 \\
= \frac{F}{EI} \cdot \frac{1}{2\alpha^3}
\end{aligned}$$

$$(7) \quad e^{\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_1 + e^{\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_2 + e^{-\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_3 + e^{-\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_4 - C_2 - C_4 = 0$$

$$\begin{aligned}
(8) \quad e^{\alpha b} \cdot (\sin \alpha b + \cos \alpha b) \cdot B_1 + e^{\alpha b} \cdot (\cos \alpha b - \sin \alpha b) \cdot B_2 + e^{-\alpha b} \cdot (\cos \alpha b - \sin \alpha b) \\
\cdot B_3 + e^{-\alpha b} \cdot (-\cos \alpha b - \sin \alpha b) \cdot B_4 - C_1 - C_2 - C_3 - C_4 = 0
\end{aligned}$$

$$(9) \quad e^{\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_1 - e^{\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_2 - e^{-\alpha b} \cos \alpha b \cdot B_3 - e^{-\alpha b} \sin \alpha b \cdot B_4 - C_1 + C_3 = 0$$

$$(10) \quad e^{\alpha b} \cdot (\cos \alpha b - \sin \alpha b) \cdot B_1 + e^{\alpha b} \cdot (-\sin \alpha b - \cos \alpha b) \cdot B_2 + e^{-\alpha b} \cdot (\cos \alpha b + \sin \alpha b) \cdot B_3 + e^{-\alpha b} \cdot (-\sin \alpha b + \cos \alpha b) \cdot B_4 - C_1 + C_2 - C_3 - C_4 = \frac{F}{EI} \cdot \frac{1}{2\alpha^3}$$

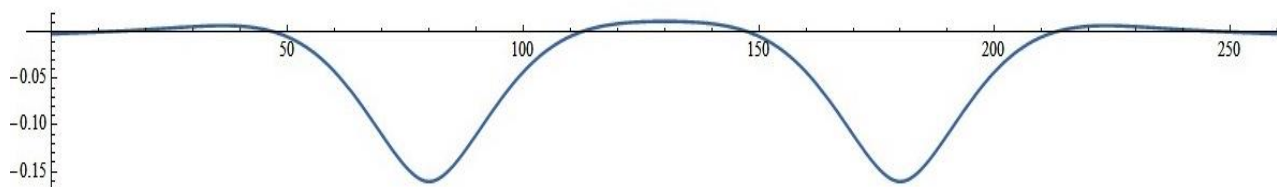
$$(11) \quad e^{\alpha c} \cos \alpha c \cdot C_1 - e^{\alpha c} \sin \alpha c \cdot C_2 - e^{-\alpha c} \cos \alpha c \cdot C_3 + e^{-\alpha c} \sin \alpha c \cdot C_4 = 0$$

$$(12) \quad e^{\alpha c} \cdot (\cos \alpha c - \sin \alpha c) \cdot C_1 + e^{\alpha c} \cdot (-\sin \alpha c - \cos \alpha c) \cdot C_2 + e^{-\alpha c} \cdot (\cos \alpha c + \sin \alpha c) \cdot C_3 + e^{-\alpha c} \cdot (-\sin \alpha c + \cos \alpha c) \cdot C_4 = 0$$

Numerički rezultati razvijenog proračunskog modela prikazani su na Slici 52. Djelovanjem dvije sile F (vrijednost sile je jednaka kao i u slučaju s jednom koncentriranom silom) deformacije nastaju u rasponu:

- od 50 m do 110 m za prvu silu
- od 150 m do 210 m za drugu silu

Najveće deformacije su na 80 m i 180 m i iznose 0,15 mm.



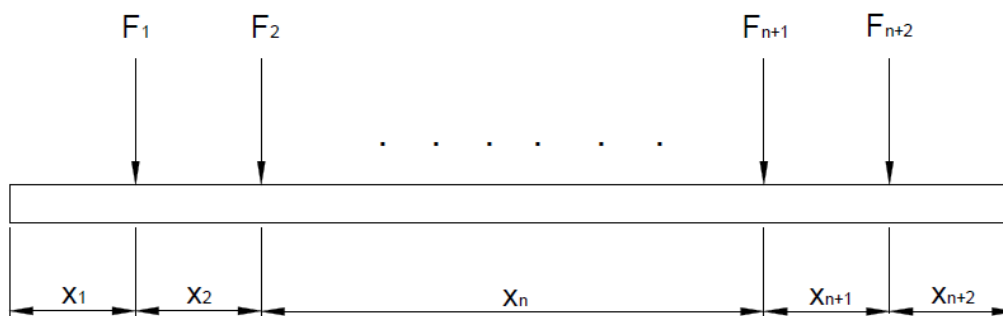
Slika 52. Deformacija nastala uslijed djelovanja dvije koncentrirane sile određenog iznosa

Rezultirajuća matrica koeficijenata nalazi se na sljedećoj stranici.

$$\begin{bmatrix}
 A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \\
 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 e^{i\omega t} \sin \omega b & e^{i\omega t} \cos \omega b & e^{-i\omega t} \sin \omega b & e^{-i\omega t} \cos \omega b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 e^{i\omega t} (\sin \omega b + \cos \omega b) & e^{i\omega t} (\cos \omega b - \sin \omega b) & e^{-i\omega t} (\cos \omega b - \sin \omega b) & e^{-i\omega t} (-\cos \omega b - \sin \omega b) & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 e^{i\omega t} \cos \omega b & -e^{i\omega t} \sin \omega b & -e^{-i\omega t} \cos \omega b & -e^{-i\omega t} \sin \omega b & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 e^{i\omega t} (\cos \omega b - \sin \omega b) & e^{i\omega t} (-\sin \omega b - \cos \omega b) & e^{-i\omega t} (\cos \omega b + \sin \omega b) & e^{-i\omega t} (-\sin \omega b + \cos \omega b) & e^{i\omega t} \sin \omega b & e^{i\omega t} \cos \omega b & e^{-i\omega t} \sin \omega b & e^{-i\omega t} \cos \omega b & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & e^{i\omega t} (\sin \omega b + \cos \omega b) & e^{i\omega t} (\cos \omega b - \sin \omega b) & e^{-i\omega t} (\cos \omega b - \sin \omega b) & e^{-i\omega t} (-\cos \omega b - \sin \omega b) & 0 & -1 & 0 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & e^{i\omega t} \cos \omega b & -e^{i\omega t} \sin \omega b & -e^{-i\omega t} \cos \omega b & -e^{-i\omega t} \sin \omega b & -1 & -1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & e^{i\omega t} (\cos \omega b - \sin \omega b) & e^{i\omega t} (-\sin \omega b - \cos \omega b) & e^{-i\omega t} (\cos \omega b + \sin \omega b) & e^{-i\omega t} (-\sin \omega b + \cos \omega b) & -1 & 1 & -1 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{i\omega t} \cos \omega b & -e^{i\omega t} \sin \omega b & -e^{-i\omega t} \cos \omega b & -e^{-i\omega t} \sin \omega b \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{i\omega t} (\cos \omega b - \sin \omega b) & e^{i\omega t} (-\sin \omega b - \cos \omega b) & e^{-i\omega t} (\cos \omega b + \sin \omega b) & e^{-i\omega t} (-\sin \omega b + \cos \omega b)
 \end{bmatrix}$$

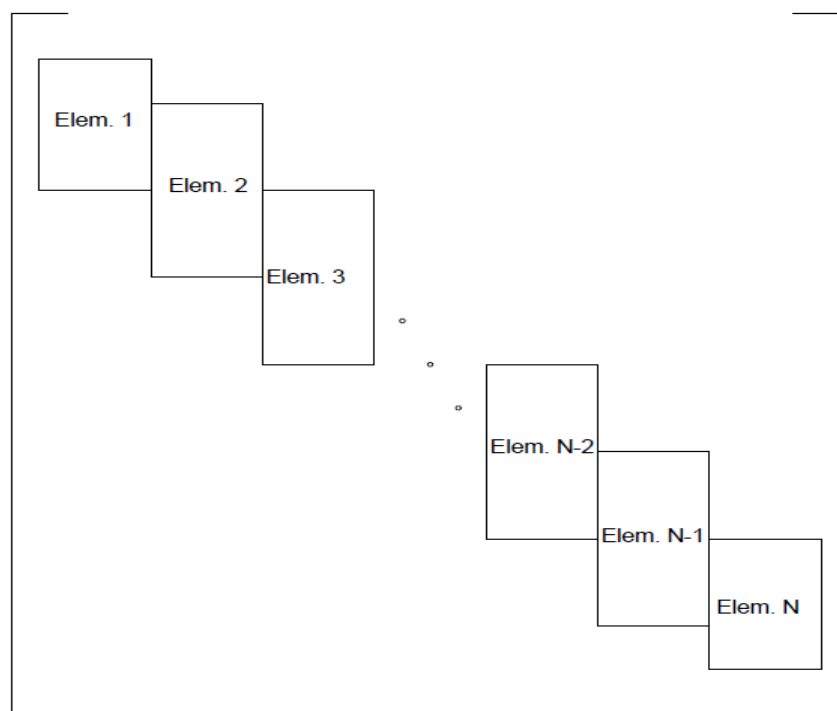
10.3. Poopćenje izraza za odziv grede na elastičnoj podlozi uslijed djelovanja proizvoljnog broja koncentriranih sila

Po istom principu radi se i za proizvoljan broj koncentriranih sila. Na svakom mjestu gdje postoji utjecaj određene sile, razluči se poseban element grede te se postave rubni uvjeti, [Slika 53].



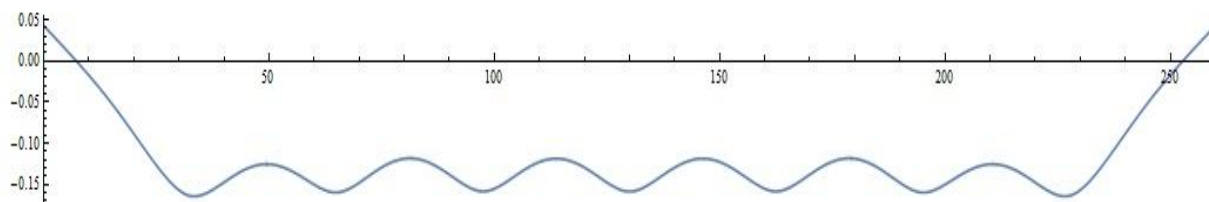
Slika 53. Struktura opterećena sa n brojem sila

Jednadžbe koje postavljene za n koncentriranih sila zapisane su u matričnom obliku tvoreći jednu globalnu matricu koeficijenata, [Slika 54].



Slika 54. Globalna matrica za n broj elemenata

Za primjer od 7 sila i 8 podijeljenih elemenata dobili smo deformacije koje iznose $0,15\text{ mm}$ na mjestu gdje su zadane sile i određeni pomak od $0,05\text{ mm}$ na početku i kraju doka.



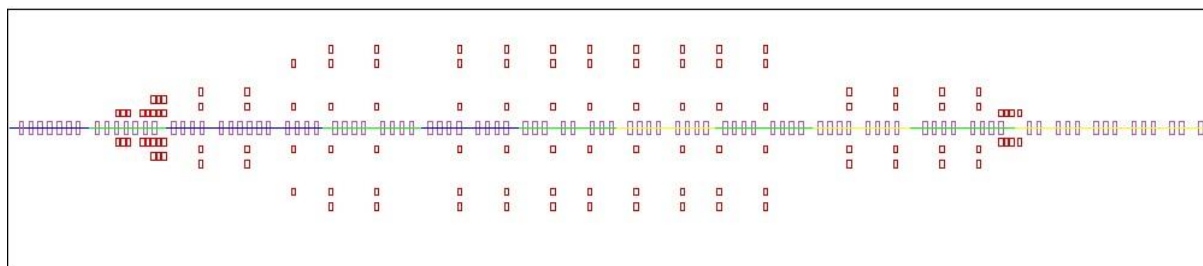
Slika 55. Deformacije nastale uslijed djelovanja sila na podijeljenih osam elemenata

10.4. Strukturna analiza doka uslijed opterećenja lakog broda

Za analizu doka uslijed opterećenja lakog broda izabran je tanker za kemikalije s pripadajućim dimenzijama:

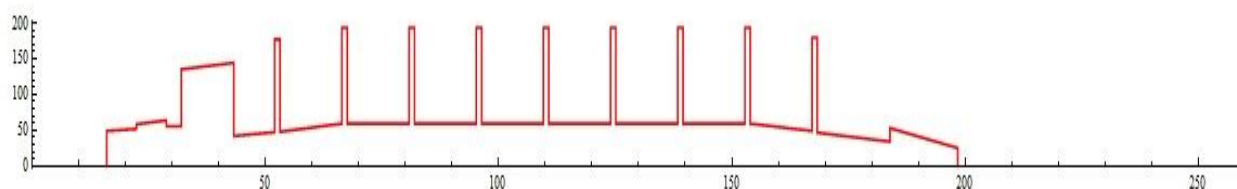
- duljina preko svega $L_{OA} = 184\text{ m}$
- duljina između perpendikulara $L_{PP} = 176\text{ m}$
- širina $B = 32,20\text{ m}$
- projektni gaz $T = 11,00\text{ m}$
- visina broda $H = 17,60\text{ m}$

Nakon što je odabran brod za analizu, dok je potkladen s kobilničnim i bočnim potkladama. Kobilične potklade nalaze se samo na centralnoj liniji i dimenzije su im $1700 \times 600\text{ mm}$, a nosivost jedne potklade iznosi 220 t . Razmak između kobilčnih potklada gleda se duž simetrale broda i kreće se od $1,4\text{ m}$ do $2,8\text{ m}$, ovisno o potrebi. Bočne potklade su nešto manjih dimenzija i njihova veličina je $1000 \times 600\text{ mm}$, a njihova nosivost je 120 t . Razmak bočnih potklada u uzdužnom smjeru iznosi od $5,4\text{ m}$ do $6,84\text{ m}$. U poprečnom smjeru se razmak računa od centralne linije na kojoj se nalaze kobilične potklade i centralne linije bočnih potklada te se njihov razmak kreće od 2 m do $10,82\text{ m}$.



Slika 56. Raspored kobiličnih i bočnih potklada

Kako bi lakše prikazali deformaciju pod djelovanjem opterećenja broda, podijeli smo distribuciju težine broda na jedanaest dijelova. Dijeleći težinu broda na jedanaest dijelova, dobili smo jedanaest sila koje djeluju na različitoj udaljenosti. Važan podatak je da se početak broda nalazi 20 m od ulaznih vrata doka.

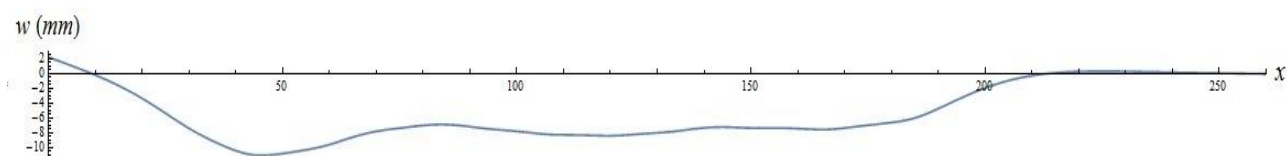


Slika 57. Distribucija težine tankera po duljini

Tablica 7. Veličina sila i udaljenost na kojoj djeluju

DIO	SILA [kN]	UDALJENOST [m]
1	8722,92	30,1
2	16551,66	43,6
3	12820,04	59,035
4	9881,18	75,97
5	9881,18	93,02
6	9881,18	106,68
7	9881,18	120,33
8	9881,18	133,28
9	9880,4	150,12
10	11119,56	166,1
11	11739,74	184,79

Ovdje je prikazana deformacija suhog doka uslijed jedanaest sila koje zamjenjuju jednu distribuciju težine tankera. Jasno se vidi da iznos pomaka na mjestu najvećeg opterećenja ne prilazi 10 mm, ali zbog težine krmenog dijela nastaje i pomak od 2 mm na početku doka.

**Slika 58. Deformacija nastala uslijed težine lakog broda**

11. ZAKLJUČAK

U suvremenoj brodogradnji sve više se napušta konvencionalni način izgradnje broda. Budućnost modernih brodogradilišta zasniva se na kvalitetnim i moderno opremljenim suhim dokovima koji su opremljeni za gradnju i remont brodova. Projekt osnivanja suhog doka je vrlo složen i veoma odgovoran posao koji zahtijeva međusobni rad i suradnju mnogih stručnjaka iz različitih polja djelatnosti.

Za izgradnju ovog građevinsko-remontnog objekta ključan element je analiza strukture tla kojom se utvrđuje njegov mehanički sastav. Na osnovu tog parametra i analize utjecaja podzemnih voda odabire se najpovoljniji tip suhog doka koji će se graditi. Građevinski radovi koji se vrše na mjestu izgradnje nisu izrazito zahtjevni, ali se mora voditi računa da ne bi došlo do pucanja iskopanog tla.

Velika pažnja poklanja se zidovima i podu suhog doka kao glavnim građevnim strukturama. Grade se od prednapregnutog betona i ojačanih vlakana kako bi izdržali velika opterećenja. Samim time bi kroz određeno vremensko razdoblje ostvarili i ekonomske uštede zbog manje potrebe održavanja tih struktura.

Funkcija doka bez odgovarajuće i kvalitetne opreme je nezamisliva. Pumpna stanica, pumpe, odvodni i naplavni kanali te ventili osiguravaju što brže naplavljivanje i isušivanje doka. Na odabir vrata utječu mnogi faktori, a najvažniji su cijena, lako održavanje, vodonepropusnost i funkcionalnost. Dizalice moraju imati optimalan kapacitet podizanja tereta, brzinu podizanja tereta i moraju biti postavljene na mjesto odakle će omogućiti što bolji i produktivniji rad.

U procesu osnivanja suhog doka važan element je i strukturna analiza te je u radu prikazan pojednostavljeni pristup temeljen na modelu grede na elastičnom osloncu. Kako bi ocjena odabranog modela bila što vjernija za numerički primjer odabran je izgrađeni gravitacijski suhi dok. Preko njegovih dimenzija i realnog koeficijenta posteljice tla dobivene su odgovarajuće deformacije čiji raspon i iznos ovisi o broju i iznosu sila. Na sličan način je analiziran tanker koji je potklađen kobilničnim i bočnim potkladama. Distribucija težine lakog broda je zamjenjena sa jedanaest sila koje djeluju na betonsko-masivni dok i kao takve ostvaruju zanemarivu deformaciju na području na kojem djeluju.

LITERATURA

- [1] http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_brod_ing_mor_teh/katedre/teh_org/materijali/kolegiji/sveuc%20diplBG/opremanje%20i%20remont%20broda/DOKOVANJE%20BRODA.pdf
- [2] <https://www.fsb.unizg.hr/zbrodo/pokus/upload/others/OB-P6-Gradjevna-mjesta.pdf>
- [3] Božić D.: "Izvlačište brodova u remontnom brodogradilištu", FSB, Zagreb, 2013.
- [4] Heger R.: "Dockmaster training manual", Heger dry dock, inc, 2005.
- [5] <http://www.fsb.unizg.hr/zbrodo/pokus/upload/others/OB-P7-Hidrotehnicki-objekti.pdf>
- [6] Gaythwaite W. John: "Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels", Published by American Society of Civil Engineers, Virginia
- [7] "Unified facilities criteria", Sjedinjene Američke države, 2002/12.
- [8] Mazurkiewicz B. K.: "Design and Construction of Dry Docks", USA, 1980.
- [9] <http://www.haywardbaker.com/WhatWeDo/Techniques/EarthRetention/SheetPiles/default.aspx>
- [10] <http://www.vanoord.com/activities/cutter-suction-dredger>
- [11] <http://translate.google.hr/translate?hl=hr&sl=en&u=http://www.boskalis.com/about-us/fleet-equipment/dredgers/cutter-suction-dredgers.html&prev=search>
- [12] <http://www.alsabapile.com/en/franki-piles.html>
- [13] Karakaš V.: "Savijanje poprečno opterećenih pilota", Geotehnički fakultet, Varaždin, 2012.
- [14] <http://www.groundwaterinternational.com/dewatering-techniques/wellpoints>
- [15] ArcelorMittal Sheet Piling: "Impervious steel sheet pile walls Design & Practical approach", 2014
- [16] <http://www.nssmc.com/en/product/construction/hat900.html>
- [17] Burjak N.: "Tehnologija zidarskih radova", Split, 2007.
- [18] Herak-Marović V.: "Armiranobetonske konstrukcije", materijali za predavanje predmeta betonske konstrukcije 2, 2008/09
- [19] Ivanković M.: "Zidovi s otvorima", Građevinski fakultet, Zagreb, 2012

- [20] Šolbić A. i Skejić A.: "Određivanje koeficijenta posteljice temeljnih stopa za dopuštena slijeganja granularnog tla", 2012
- [21] Domitrović D. i Kvasnička P.: "Mehanika tla", Zagreb, 2012.
- [22] Landris T. Lee, Jr. i Peterson R.W.: "Underwater Geotechnical Foundations", Sjedinjene Američke Države, 2001
- .

PRILOZI

I. CD-R disc